

발간등록번호

11-1480000-001691-01

ISBN 978-89-93652-59-8
978-89-93652-57-4 (세트)

정책결정자를 위한 요약서

한국 기후변화 평가보고서 2020

- 기후변화 영향 및 적응 -

Korean Climate Change Assessment Report 2020



발간등록번호

11-1480000-001691-01

ISBN 978-89-93652-59-8
978-89-93652-57-4 (세트)

한국 기후변화 평가보고서 2020

- 기후변화 영향 및 적응 -

정책결정자를 위한 요약서



환경부
Ministry of Environment

서문

'18년의 기록적인 폭염과 한파, '20. 1월의 이상고온 등 기후변화로 인한 피해는 생태계, 건강, 산업과 사회기반시설 피해 등 사회 전부문에서 영향을 미치고 있어, 온실가스 감축과 함께 상당한 수준의 기후변화 적응 노력이 요구되고 있습니다.

기후변화 피해를 저감하고 적응하기 위해서는 지역마다 서로 다르게 나타나는 기후변화 현상과 영향, 취약성을 파악하고 대응하는 것이 필요합니다. 특히, 한반도의 기후변화 현상은 전지구적 변화 속도에 비해 빠르게 진행되고 있어 이에 대한 이해와 대응이 매우 중요합니다.

이에, 환경부는 한반도에서 발생할 수 있는 기후변화 영향을 정확하게 파악하고 기후변화 적응정책에 반영하기 위해 「한국 기후변화 평가보고서 2020」을 기상청과 공동으로 발간하게 되었습니다. 환경부는 '기후변화 영향 및 적응'을 기상청은 '기후변화 과학적 근거' 분야를 담당하였으며, 2020년 말 수립 예정인 '제3차 국가 기후변화 적응대책(21~25)' 일정에 맞추어 「한국 기후변화 평가보고서 2014」 발간 이후 6년 동안 한반도의 기후변화 영향 및 취약성과 관련된 새로운 연구들을 집대성하여 정리하였습니다.

'기후변화 영향 및 적응'은 기후변화의 영향을 받는 부문을 수자원, 생태계, 산림, 농업, 해양 및 수산, 산업 및 에너지, 보건, 인간정주공간과 복지 등 8개 부문으로 구분하고, 각 부문별로 한반도 기후변화의 영향 및 전망, 취약성 원인을 제시하고 있습니다. '14년부터 '20년까지 발간된 연구논문과 정부보고서 총 881편을 활용하였고, 수자원, 산림, 농업 등 관련 학계와 연구소 등 각 부문별 전문가 총 42명이 참여하여 주셨습니다. 보고서 발간을 위해 시간과 노력, 열정을 아끼지 않으신 모든 저자분들께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

「한국 기후변화 평가보고서 2020」가 '제3차 국가 기후변화 적응대책(21~25)'과 '제3차 광역지자체 기후변화 적응대책 세부시행계획(22~'26)' 등 중앙정부, 지방자치단체, 공공기관, 민간기업 등 각 분야에서 기후변화 적응정책을 수립하는데 유용한 자료로 활용되기를 바라며, 향후에도 다양한 분야의 지식을 공유하여 활발한 기후변화 연구가 수행되기를 희망합니다.

2020. 7.

환경부장관 조 명 래

목 차

서문	i
<hr/>	
1. 소개	1
1.1 배경 및 절차	1
1.2 「한국 기후변화 평가보고서 2014」 연구 주제 및 시사점	1
1.3 주요 연구동향	2
<hr/>	
2. 수자원	3
2.1 서론	3
2.2 관측된 영향	3
2.3 영향 전망	3
2.4 취약성의 주요 원인	5
2.5 적응 옵션	5
<hr/>	
3. 생태계	6
3.1 서론	6
3.2 관측된 영향	6
3.3 영향 전망	7
3.4 취약성의 주요 원인	8
3.5 적응 옵션	8
<hr/>	
4. 산림	10
4.1 서론	10
4.2 관측된 영향	10
4.3 영향 전망	11
4.4 취약성의 주요 원인	12
4.5 적응 옵션	13
<hr/>	
5. 농업	14
5.1 서론	14
5.2 관측된 영향	14
5.3 영향 전망	14
5.4 취약성의 주요 원인	15
5.5 적응 옵션	16

목 차

6. 해양 및 수산	17
6.1 서론	17
6.2 관측된 영향	17
6.3 영향 전망	18
6.4 취약성의 주요 원인	19
6.5 적응 옵션	19

7. 산업 및 에너지	20
7.1 서론	20
7.2 관측된 영향	20
7.3 영향 전망	20
7.4 취약성의 주요 원인	21
7.5 적응 옵션	22

8. 보건	23
8.1 서론	23
8.2 관측된 영향	23
8.3 영향 전망	24
8.4 취약성의 주요 원인	24
8.5 적응 옵션	25

9. 인간정주공간 및 복지	26
9.1 서론	26
9.2 관측된 영향	26
9.3 영향 전망	26
9.4 취약성의 주요 원인	27
9.5 적응 옵션	28

10. 적응대책 및 계획	29
10.1 서론	29
10.2 기후변화 적응대책 수립	29
10.3 기후변화 적응대책 수립 방법론 연구	30
10.4 기후변화 적응대책 수립 시 고려사항	31

1. 소개



1.1 배경 및 절차

기후변화 피해를 저감하고 적응하기 위해서는 지역마다 서로 다르게 나타나는 기후변화 현상과 영향, 취약성을 파악하고 대응하는 것이 필요하다. 이에, 환경부는 지난 2011년과 2015년 각각 「한국 기후변화 평가보고서 2010」, 「한국 기후변화 평가보고서 2014」를 발간하였다. 이후 「제3차 국가 기후변화 적응대책(2021~2025)」 수립 일정에 맞추어 지난 6년간 새롭게 축적된 연구들을 정리하여 제3차 보고서인 「한국 기후변화 평가보고서 2020」을 발간하게 되었다.

본 보고서는 한반도를 대상으로 한 기후변화 영향, 취약성, 적응대책과 관련된 총 880편 이상의 국내·외 연구 결과를 토대로 작성하였고, 서론, 수자원, 생태계, 산림, 농업, 해양 및 수산, 산업 및 에너지, 보건, 인간정주공간과 복지, 적응대책 및 계획을 포함한 총 10장으로 구성되었다. 정책결정자를 위한 요약보고서는 본 보고서의 주요 결과를 요약하여 제시하고 연구 결과의 신뢰도를 3단계 동의 수준으로 제시하였다(표 1.1).

보고서 발간을 위한 집필진 구성은 학계와 연구기관을 중심으로 부문별로 주저자와 기여저자를 선정하였다.

표 1.1. 연구결과의 신뢰도 평가(동의수준) 구분

<p>01 동의수준 견고</p>	<p>관련 부문 논문들의 수가 어느 정도 되고 서로 배치되는 내용이 없이 일치되는 경우 혹은 전문가들의 의견이 일치하는 경우</p>
<p>02 동의수준 중간</p>	<p>논문의 수가 어느 정도 되지만 소수의견 등으로 증거를 판단하기 어렵거나 전문가 사이에서도 소수이지만 다른 의견이 있는 경우</p>
<p>03 동의수준 제한적</p>	<p>논문의 수가 아주 적거나 논문의 내용 혹은 전문가 사이에서도 의견이 서로 달라서 신뢰도를 판단하기에 어려운 경우</p>

보고서 초안은 기여저자를 통해 보완하고, 부처별 검토 후 최종적으로 감수저자의 자문내용을 반영하였다. 이후 보완된 본 보고서를 중심으로 국문 요약보고서 및 영문 요약보고서를 작성하였다.

1.2 「한국 기후변화 평가보고서 2014」 연구 주제 및 시사점

이전 보고서인 「한국 기후변화 평가보고서 2014(이하 '2014년 보고서)」의 부문별 연구 주제를 살펴보면, 수자원 부문의 경우 지표 유출, 홍수, 가뭄 변화 연구와 함께 취약성 평가와 적응대책 수립에 관한 연구가 늘었다. 생태계 부문에서는 식물계절 시기 변화, 식물과 동물 분포 및 종 조성 변화에 관한 연구가 진행되었고, 산림 부문의 경우 기후변화에 따른 산림분포 변화, 산림의 탄소 저장량 변화, 산림 재해 관련 연구를 포함하였다. 농업 부문에서는 작물의 재배 적기 및 적지 변화, 해충 발생 변화 등에 대한 전망이 다수 연구되었다. 해양 및 수산의 경우 해면 수온 상승, 해수면 상승, 해류의 변화, 해양산성화, 용존기체 감소의 변화와 이에 따른 생물 특성 변화를 예측하였다. 산업 및 에너지의 경우 기후변화가 우리 생활과 산업에 미치는 직간접적인 영향에 대해 연구가 이루어졌지만, 산업 부문의 상이한 특성과 업종을 모두 고려하지는 못하였다. 보건 부문에서는 기후변화로 인해 증가한 사망자 및 환자에 대한 다학제간의 공동연구가 이루어지고 있었으나, 이를 바탕으로 적응대책이 수립되는 것에는 한계가 있음을 확인했다. 인간정주공간과 복지 부문의 경우 도시의 재해, 취약지역, 기후변화 적응과 도시계획 기법의 연구, 농촌의 효율적인 에너지 사용 등에 대한 논의가 이루어졌다. 특히 사회 취약계층을 위한 기후변화 적응 연구 필요성을 강조하였다. 마지막으로 적응전략 부문에서는 국가 단위의 적응대책 발전과정과 지자체 적응대책 수립에 관하여

서술하였으며, 적응대책 실효성 제고 관점에서 이행력 확보, 위험평가 강화, 적응대책 우선순위, 취약계층 고려, 공간계획 강화, 적응대책의 체계화, 적응과 감축의 연계 등에 대해 검토하였다.

2014년 보고서를 토대로 검토한 결과, 우리나라 기후변화 영향, 취약성 및 적응 연구에서 추가적으로 필요한 사항은 다음과 같았다.

먼저, 연구의 신뢰성 확보를 위한 부문별 관측정보 확대와 자료 품질 개선이 필요하였다. 장기 관측정보 부족, 자료의 품질 및 메타정보 미흡 등으로 정량적 영향 연구가 제한되었으며, 신뢰성 확보도 다소 어려운 측면이 있었다. 또한, 다양한 시나리오하의 기후변화 영향 전망과 불확실성에 대한 검토가 필요하였다. 합리적 정책 대안의 발굴을 위해 IPCC의 다양한 기후변화 및 사회경제변화 시나리오를 고려한 영향 전망과 예측 불확실성 정보를 제공할 수 있도록 추가적인 연구가 필요한 것으로 보인다. 마지막으로, 국제적으로 관심이 높아지고 있는 지속가능 발전 경로와 기후변화 적응간의 연계성 강화에 대한 연구가 필요한 것으로 나타났다.

본 보고서에서도 위의 내용이 다 해결된 것은 아니지만, 2014년 이후 정량적 영향 연구 등 그 동안 많은 연구가 이루어지고 적응대책 연구가 증가하였으나, 아직도 실제 정책에 반영되기에는 한계가 있었다.

도출해 내고 있다. (2) 적응에 대한 논의는 기후탄력성에 대해서도 언급하고 있으며, 적응 옵션에서 지속가능성을 중요하게 고려하여 사회적, 환경적, 경제적 관점에서 한계와 지속가능 여부를 논의한다. 적응 옵션에서 또 다른 큰 이슈는 공정성(equity)으로 저소득층과 주민 커뮤니티에 많은 초점을 맞추고 있다. (3) 지속가능한 발전은 의사 결정과 기후탄력적 발전 경로에 대한 내용을 다루고 있다. 위험 관리를 위한 의사결정에 영향을 주는 요소를 파악하고, 시간, 공간 규모에 따라 적합한 의사결정에 대해 논의한다. 기후탄력적 발전 경로에서는 지속가능발전 및 적응과 감축이 갖는 시너지와 절충에 대해서 분석한다.

한편, 범지구적 감축목표 설정과 관련한 「IPCC 1.5°C 특별 보고서」에서도 산업혁명 이후부터 2100년까지 지구 평균온도 상승을 1.5°C로 제한하기 위해 강력한 감축 조치가 필요함을 강조하며, 1.5°C 경로를 달성하기 위해서는 감축뿐만 아니라 적응과의 시너지 효과가 극대화되어야 하며, 지구온난화 제한에 도움이 될 수 있도록 사회구조 및 시스템이 전환되는 지속가능한 발전 경로를 따라야 함을 강조하고 있다.

이러한 관점에서 우리나라도 여러 가지 기후변화로 인한 문제를 해결하기 위해 적응과 감축을 연계하고 어떻게 지속가능성을 확보할 것인지에 대한 구체적인 논의가 필요하다.

1.3 주요 연구동향

2020년 7월 현재 「IPCC 제6차 평가보고서」중 워킹그룹(WG)-II(영향, 적응, 취약성) 보고서는 개요만 승인된 상태로, 2021년 발간될 예정이다. 공개된 보고서 목차는 크게 (1) 기후변화로 인해 영향을 받는 시스템의 위험, 적응 그리고 지속가능성(2장~8장), (2) 지역(9장~15장), (3) 지속가능한 발전 경로: 적응과 감축의 통합(16장~18장)이라는 3개의 섹션으로 구성되어 있다. 각 장의 개요를 통해 현재 대두되고 있는 기후변화에 대한 국제적인 이슈를 살펴보면 우선, (1) 기후변화 취약성에서 위험평가 체계로 전환되어 기후변화에 따른 각 부문의 동적인 위험을 이해하고, 현존하는 영향과 이미 돌이킬 수 없는 손실까지

2. 수자원



2.1 서론

수자원 부문의 연구는 기존의 영향 전망과 취약성 연구 뿐만 아니라 적응 및 경제성 분석까지 폭 넓은 분야로 확대되었다. 관측된 영향에서는 새로운 지수나 기법들을 활용한 가뭄과 홍수 분석 연구가 증가하였고, RCP 시나리오에 따른 유출량 변화, 홍수, 가뭄 등의 강도, 발생 빈도 등을 모의하는 연구가 수행되었다. 이외에도 기후변화 불확실성을 정량화하는 연구가 증가하였으며, 적응옵션 부문에서는 다양한 의사결정 방법을 개발하고 적용하는 연구가 수행되었다. 본 보고서에서는 한반도를 대상으로 수행된 수자원 연구를 검토하고 향후 우리나라에서 진행되어야 할 기후변화 관련 수자원 연구 방향을 제시하였다.

2.2 관측된 영향

여름철 강수량이 뚜렷하게 증가하고 있으며, 최근 30년 동안 극한 강우 발생 횟수가 증가했다(견고한 동의). 가뭄 빈도 및 가뭄 강도가 증가하여 가뭄에 의한 사회·경제적 피해가 커지는 양상을 보였으며, 최근 들어 가뭄의 지역적 편차가 크게 발생하였다(견고한 동의).

전국 8개 주요 도시인 서울, 인천, 대전, 대구, 울산, 광주, 부산, 춘천의 최근 30년 강수 자료의 추세를 분석한 결과, 전반적으로 연평균 강수량이 증가하며, 특히 여름철 강수량이 뚜렷하게 증가하는 것으로 관측되었다. 연평균 강수량 증가와 함께 극한 강우 발생이 3.1%~15% 증가했고, 이로 인해 가능최대강수량(Probable Maximum Precipitation, PMP)도 증가하는 경향이 나타났다.

가뭄 연구는 여러 수문학적·기상학적 가뭄지수들을 결합하거나 새로운 가뭄지수를 개발, 검증하는 방법으로 많이 진행되었다. 가뭄의 경향을 분석한 결과, 가뭄의 빈도와 강도가 증가하고 있으며, 가뭄의 지역적 편차가 크게 발생하는 것으로 나타났다. 5대강 권역은 1988년과 1994년에 가장 가뭄이 심했던 것으로 분석되었고 가뭄의 재현기간이 약 30~50년 사이인 것으로 나타났다. 특히, 한강 권역을 중심으로 발생한 2014년의 가뭄은 재현기간이 100년으로 역사상 가장 극심했던 가뭄 중 하나로 평가되었다.

홍수 연구는 확률통계기법을 이용한 확률강우량(Probability Rainfall, PR)과 설계홍수량의 증가를 분석하거나 홍수의 규모와 빈도에 따른 피해 분석에 초점을 맞춘 연구가 주로 수행되었다. 그 외 하천 수위와 지하수의 경우, 수리·수문모형을 이용하여 강수와 하천 변화에 따른 수위·지하수 변화를 검증하는 연구들이 주로 수행되었으나 그 수는 적었다.

2.3 영향 전망

극한 강우 사상의 발달과 돌발호우 등의 증가로 홍수 취약성이 증가하며, 특히 한강 및 금강권역의 미래 홍수 발생 빈도와 크기가 증가할 것으로 전망되었다(중간적 동의). 미래 가뭄은 전반적으로 발생 빈도 또는 규모가 심화될 것으로 나타났으며(중간적 동의), 전망 기간이 길어질수록 가뭄 발생 빈도와 규모가 증가하여 가뭄 피해가 증가하며(중간적 동의), 특히 한강권역 및 남부지역에서 피해가 증가할 것으로 분석되었다(중간적 동의).

향후 우리나라는 평균 강수량뿐만 아니라 가능최대 강수량, 확률강우량 등도 전반적으로 증가하는 것으로

나타났다. 일강우량 최대치의 재현 기간이 300년 이상인 강우 관측지점의 비율은 2020년대(2011년~2040년) 14%, 2050년대(2041년~2070년) 28%, 2080년대(2071년~2100년) 35%로 증가하였다(그림 2.1). 가능최대강수량의 경우 과거(~2013년) 기간에는 915.5 mm, 미래(2011~2100) 기간에는 1,030.1 mm로 산정되어 과거 대비 미래에 13.3% 증가하는 것으로 분석된다. 강수 전망과 유사하게 미래 유출량 또한 전반적으로 증가하며, 특히 여름철 유출량 위주로 증가할 것으로 나타났다. 그러나 유출 모형 및 배출 시나리오 선정에 따라 지역별·기간별 결과의 불확실성도 증가하고 있다.

강수량 증가와 함께 토지이용 변화에 따른 유출 특성 변화에 의해 한강 및 금강권역의 홍수 발생 빈도와 크기가

점차 증가하는 것으로 전망되었다. 또한, 극한 강우사상의 발달과 돌발호우 등의 증가로 홍수 취약성이 증가할 것으로 전망되었다. 그러나 연구별로 다양한 모형과 기법의 적용으로 전망 결과 간 다소 차이가 존재하였고, 전망 기간이 길어질수록 결과의 불확실성이 증가하는 것으로 나타났다. 미래 가뭄은 전반적으로 발생 빈도와 규모가 커지며, 전망 기간이 길어질수록 발생 빈도 및 규모가 증가하여 가뭄 피해가 증가했다. 특히 한강권역 및 남부지역에서 그 피해가 증가할 것으로 분석되었다. 수문학적 가뭄은 RCP 2.6 및 4.5에서 과거(1971년~2000년) 대비 미래(2012년~2100년)에 전반적으로 심각해지며, RCP 6.0은 과거보다 약해지고, RCP 8.5기반 미래 가뭄은 과거와 비슷한 양상을 보일 것으로 전망되었다.

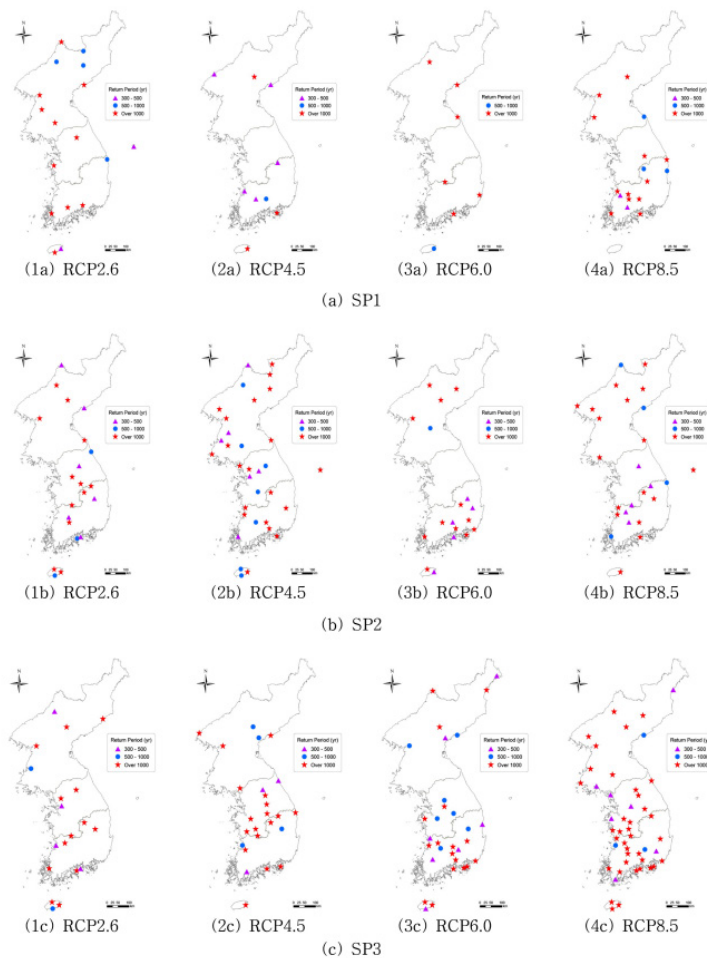


그림 2.1 RCP 시나리오에 따른 일강우 최대치의 재현기간이 300년 이상인 지점(권민성 등, 2015). 2020년대(SP1, 2011~2040), 2050년대(SP2, 2041~2070), 2080년대(SP3, 2071~2100) 시기별 일강우 최대치의 재현기간(▲ 300~500년, ● 500~1,000년, ★ 1,000년 이상)

2.4 취약성의 주요 원인

홍수 취약성 분석 및 전망에서는 극한 강우 발생의 증가로 인한 유역별 홍수피해에 따른 피해 분석과 소하천·산지의 돌발홍수에 의한 지역 취약성 및 도심홍수에 의한 침수 취약성 분석 등으로 연구 범위가 확대되었다(중간적 동의). 다양한 홍수 취약성 지표가 개발되었으며, 가뭄의 경우 연구 목적에 따라 다양한 방법들이 적용되었다(중간적 동의).

홍수 취약성 전망 및 분석에서는 호우 발생의 증가로 인한 유역별 홍수피해에 따른 피해 분석뿐만 아니라 소하천 및 산지의 돌발홍수에 의한 지역 취약성과 도심 홍수에 의한 침수 취약성 등 연구 범위가 넓어졌다. 여러 연구에서 경기 북부·강원도 지역이 상대적으로 홍수에 취약한 지역으로 분류되었으며, 미래 확률강우량 증가로 인해 홍수량이 증가하고 침수지역 또한 넓어지는 것으로 나타났다.

가뭄 취약성 전망 및 분석은 확률통계기법을 이용한 가뭄 발생 빈도나 가뭄 발생 강도에 따른 취약성을 분석하거나 가뭄 관련 취약성 지표 값을 산정하여 평가하는 방법이 주로 이용되었다. 가뭄 취약성 전망에서 공통적인 결과는 먼 미래이고 겨울철일수록 가뭄 빈도와 크기가 증가하여 가뭄 피해가 증가할 것으로 전망되었다. 미래 가뭄 위험을 3개월 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI3)를 이용해 평가한 결과 2030년대는 중부와 남부지역이 높고, 2050년대는 낙동강 유역, 2080년대는 한반도 전역이 가뭄에 취약한 것으로 전망되었다. 이수측면의 댐 기반 물 공급 가능성을 살펴보면, 현재 10년 빈도 이하의 가뭄에 대해서는 물 공급이 안정적이거나 향후 미래에는 남부지방을 중심으로 점차 물 부족이 심화될 것으로 전망되었다. 지속가능한 물 공급 측면에서 지하수 활용의 중요성이 증가하고 있으나, 지하수 취약성 연구가 부족하여 앞으로 추가 연구가 필요하다. 특히, 미래 지하수위가 낮아질 것으로 전망되므로 지하수의 공간적·시간적 취약성과 관리를 위한 연구들이 시급히 수행되어 할 것으로 판단된다.

2.5 적응 옵션

수자원 부문에서 적응대책 수립을 위한 다양한 연구가 2배 이상 증가하였으나 실제 정책에 반영되기는 아직 부족한 실정이다(중간적 동의).

기후변화에 대한 수자원 적응대책 수립을 위한 다양한 의사결정 기법 연구 및 홍수 방어, 가뭄 관련 적응 연구가 진행되었다. 가뭄 관련 적응대책으로 용수공급 관련 제도 개선 등 비구조적 대책 연구가 증가하였으며, 2014년 보고서에 비해 적응전략 연구 비중이 전체 연구의 8%에서 약 20%로 증가했다. 그러나 실제 정책수립에 반영되기에는 더 활발한 연구와 의미 있는 내용이 도출되어야 할 것으로 보인다.

3. 생태계



3.1 서론

기후변화는 자연과 사회경제 시스템 전반에 광범위하고 지속적으로 영향을 미치고 있다. 시간과 자원 그리고 노력을 투입하면 기후변화의 영향이나 피해를 원상회복하거나 복원할 있는 부문도 있으나, 생물의 유전자, 종, 생태계 등 생물 다양성이 소실되면 영원히 복구되지 않으므로 되돌릴 수 없는 경우가 많다. 그럼에도 다른 사회경제 부문과는 달리 기후변화에 따라 생태계가 겪는 어려움은 인간에게는 직접적인 피해를 미치거나 불편을 주지 않고 이해관계가 없으므로 관심 밖에 있다. 오히려 인간에 의해 생태계가 겪고 있는 실상을 아는 것이 부담스럽고 불편한 것으로 받아들이는 일도 흔하다. 본 보고서에서는 인간에 의한 기후변화가 우리의 식물, 동물, 취약 생태계에 어떠한 영향을 미치는지를 분류군, 서식지별로 분석하여 관측된 영향, 영향 전망, 취약성의 원인, 적응 옵션 등 대응 방안을 찾아 자연과 인간이 공생하는 길을 모색하고자 하였다.

3.2 관측된 영향

관측된 영향 연구는 특정 생태계와 식물종을 중심으로 분석되어 상호관계를 설명하는데 제한적이므로, 다양한 종과 연구주제에 대한 지속적이고 장기적인 연구가 필요하다(제한적 동의). 기후변화에 따른 동물생태 영향에 대해서는 서식지 이동 경향을 보고하는 연구가 많이 이루어졌다(견고한 동의). 취약생태계는 다양한 취약생태계를 대상으로 연구가 진행되어 신뢰수준이 향상되었다(중간적 동의).

기후변화와 식물 사이의 관계를 분석하기 위한 식물의 서식지 변화에 대한 연구가 상대적으로 활발해졌고, 식물의

생육이나 생리적인 변화에 대한 연구도 늘었다. 온난화에 따라 생육 기간이 증가하고 있으며, 1970년~2013년간 생육개시일이 평균 2.7일/10년 앞당겨지고 낙엽 시기는 1.4일/10년 늦어져 총 생육기간은 4.2일/10년 증가하였다. 식물분포의 경우에는 해발고도가 높아질수록 아고산 식물종 등 북방계식물과 희귀·특산 식물의 비율이 높아지고 종의 다양성은 감소하는 것으로 나타났다.

2014년 보고서와 유사하게 기후변화에 따른 동물생태 영향은 서식지 이동 경향을 보고하는 연구가 많으며, 비행성이면서 눈에 비교적 잘 띄는 남방계 나비와 조류 등이 북쪽으로 분포가 넓어지거나 남부지방에서 새로운 남방계 종이 유입된다고 보고되었다. 한국산 나비 63종의 남방계종의 북방 한계선은 지난 60년 동안 매년 1.6 km씩 북쪽으로 상승하였고 북방계 종의 남방 한계선은 남쪽으로도 확대된 것을 확인하였다. 외래종인 등검은말벌과 갈색날개매미충, 위생해충인 모기와 진드기 등도 확산이 전국적으로 뚜렷하게 나타났다. 외래종인 등검은말벌은 2008년까지 부산지역을 중심으로 출현하다 2014년은 서울, 경기, 충청 일부 지역을 제외한 전국 103개 시군으로 확대되고 2015년에는 전국 155개 시군으로 확대되었다.

취약 생태계는 일반 생태계보다도 기후변화에 따른 민감성이 커서 생물 종의 구성이나 분포역의 변화가 빠르고 극단적인 방향으로 나타났다. 기후변화에 따른 취약 생태계 변화 연구는 고산 및 아고산, 연안 및 도서, 내륙습지 등을 대상으로 생물 종의 분포범위, 생태계 구조 등과 관련하여 관측된 영향의 연구 성과가 발표되었다. 2014년 보고서에서는 고산 및 아고산 지대와 관련한 연구 성과가 대부분을 차지하였으나 근래에는 연안 및 도서 지역에 관련한 연구의 비중이 크게 늘어 다양한 생태계 구조에 관한 연구가 수행되고 있으며 연구의 신뢰수준도 높아지고 있는 것으로 보인다.

3.3 영향 전망

기후변화 영향 전망은 미래 기후 시나리오에 따른 대상 분류군의 서식지, 개체군 변화 양상 시뮬레이션 연구 등 서식지 분포 변화 연구에 집중되었다. 기후변화가 우리나라 생태계에 미치는 영향을 정확하게 전망하려면 여러 생물 종들과 생리·생육, 식물계절 등 다양한 연구주제에 대한 균형 잡힌 연구가 필요하다(제한적 동의).

기후변화에 따른 식물의 생육, 식물계절, 서식지 분포 변화 예측에 관한 연구들이 수행되었다. 식물은 기후조건과 함께 토양수분 및 영양분 등 다른 환경요소가 충족되었을 때 생육이 증가하는 것으로 예측되었다. 식물계절의 변화는 미래 기후 시나리오(RCP 4.5, RCP 8.5)에 따라서 2090년

이후 벚꽃 등 대상 종의 개화 시기가 각각 6.3일과 11.2일 빨라지는 것으로 예측되었다. 서식지의 이동, 축소, 확대 등 서식지의 미래 분포 양상은 종에 따라 다른 것으로 보고 되었다. 소나무의 고사율은 겨울철 기온이 1°C 증가할 때마다 1.01% 증가하는 것으로 분석되었고, 낙엽송과 잣나무의 경우 봄철 기온이 1°C 증가할 때마다 고사율이 각각 1.43%, 2.26% 증가하는 것으로 확인되었다. 한대성 상록활엽수와 침엽수 등을 포함하는 한대성 수종은 대부분 분포지가 축소될 것으로 분석되었다(그림 3.1). 구상나무의 경우 강수량 증가 등으로 분포역이 확대될 수도 있으며, 난대성 수종의 경우 종에 따라 확대 또는 축소 등 다양한 분포 양상이 나타날 것으로 보였다. 기후변화 영향 전망은 서식지 분포 변화에 집중되어 있어 생리·생육, 식물계절 등의 연구가 활성화되는 것이 바람직하다. 식물의 분포 연구 또한 특정 종에 국한되어 연구되고 있으며, 실측자료의 부족으로 미래 분포지 예측은 불확실성이 높다.

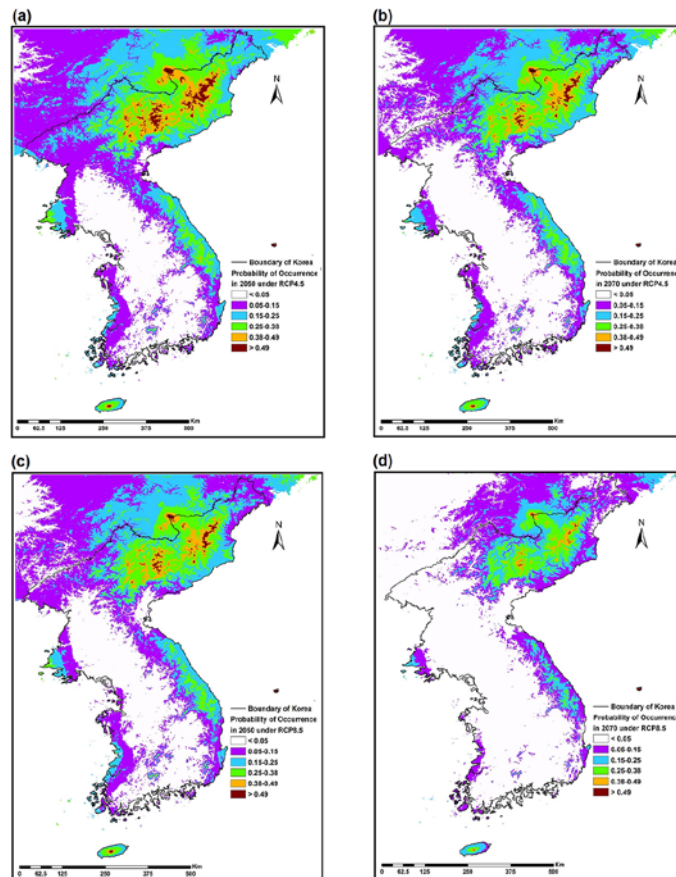


그림 3.1 기후변화 시나리오에 따른 한대성 상록활엽수 적합 서식지 분포 변화 예측(Koo et al., 2015). RCP 4.5(a)와 RCP 8.5(c) 하의 2050년까지의 적합 서식지 분포 변화 예측과 RCP 4.5(b)와 RCP 8.5(d) 가정 하의 2070년까지의 적합 서식지 분포 변화 예측.

기후변화에 따른 동물의 서식지 분포 및 풍부도 변화에 관한 연구의 경우, 2050년 이후 대상 분류군의 서식지나 개체군 변화 양상에 관한 시뮬레이션 연구가 활발하게 이루어졌다. 멸종위기에 있는 대부분의 종들은 기후변화에 따라 서식지 감소가 두드러질 것으로 나타났으며, 곤충류의 개체군 풍부도 역시 기온상승에 따라 13~36%가 감소할 것으로 분석되었다. 수서곤충의 풍부도 또한 감소할 것으로 나타났으며 특히 고산 하천에 서식하는 강도래목의 경우 최대 62%가 사라질 것으로 분석되었으나, 잠자리목의 경우 기온상승으로 30% 이상 증가할 것으로도 예측되었다. 감염병 매개체 곤충의 분포 범위가 확장할 것으로 예상되며 뎅기열이나 지카바이러스를 전파할 수 있는 흰줄숲모기는 2050년 국내 겨울철 평균기온이 10°C 이상으로 올라갈 경우 국내 토착화가 가능할 것으로 예상되었다. 도롱뇽은 기온상승으로 인한 봄철 온도 차 감소가 에너지 소모를 증가시켜 개체군 감소를 일으킬 가능성이 높은 것으로 보고되었다.

취약 생태계의 기후변화 영향 전망 연구는 주로 고산 및 아고산 지역을 대상으로 진행되었으나, 습지, 하천 수생태계 등 폭넓은 생태계와 생물 종을 대상으로 연구가 확대되고, 연구의 신뢰수준이 향상되었다.

3.4 취약성의 주요 원인

취약성 평가에 있어서 기후변화는 매우 중요한 요인으로 관측·분석되었다. 그러나 보다 신뢰할 수 있는 취약성 분석을 위하여 다양한 생물종에 대하여 다각적인 연구방법을 적용한 통합적인 분석이 필요하다(제한적 동의).

식물의 생리·생육, 식물계절 및 서식지 분포 변화에 대한 취약성 평가에 있어서 기후변화는 매우 중요한 요인으로 분석되었다. 기온상승과 이산화탄소 증가 등은 식물의 생장을 증가시키는 것으로 분석되었으나, 토양 조건 등 다른 환경 조건에 따라 영향의 정도가 다른 것으로 조사되었다. 식물계절은 기온변화에 매우 민감하게 영향을 받는 것으로

분석되었으며, 온난화에 따라 대다수 식물의 개화 시기가 앞당겨지거나 낙엽 시기가 늦어졌다.

동물 생태계에서 기온상승과 같은 기후적 요인이 절지동물류의 종 다양성 증감에 중요한 영향을 주는 것으로 나타났다. 그러나 동물에 따라서는 기후요인과 함께 숲의 확대에 의한 긍정적 효과나 개발로 인한 서식지의 질 하락 등과 같은 부정적 효과도 함께 복합적인 요인이 종 다양성에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 해충의 경우 먹이 요인의 분포나 밀도 변화 그리고 온도 스트레스에 관여하는 다양한 유전자 발현과 생리적 적응 기작 유무, 중간 상호작용 등으로 인하여 분포범위가 더 확장될 수도 있는 것으로 나타났다. 그러나 각 동물 종의 서식지 확대나 개체군 증가가 종마다 특이한 경우가 많아 모든 종을 대상으로 한 공통적인 원인을 찾기는 어려울 것으로 평가되었다.

취약 생태계 연구에서 취약성의 주요 원인과 관련한 연구 결과는 상대적으로 많지 않았으나, 지역의 취약성 평가 지표 개발에 대한 연구 성과는 두드러졌다. 또한 기후변화 시나리오 하에서의 미래 전망과 적응대책을 마련하는 연구 성과가 새롭게 제시되었다.

취약성의 원인에 대한 연구는 기후요소뿐만 아니라 토양환경요인 등 더욱 다양한 요소들을 입체적으로 고려한 연구가 증가하였다. 기초자료 성격의 자료를 구축하는 것을 넘어 서식지 분포 예측 및 정책 제안 등 풍부한 연구 결과가 도출되어 연구의 신뢰수준이 향상된 것으로 판단된다.

3.5 적응 옵션

기후변화는 생태계를 구성하는 다양한 요인들과 복잡한 상호작용을 통해 생태계에 영향을 미치게 된다. 2014년 이후에 이루어진 연구들은 이러한 복잡한 생태계를 이해하고 적응대책을 수립하기에 매우 제한적인 정보만을 제공하고 있다. 또한, 생물종 분포 확대에 대한 예상 시나리오 관련 연구는 활발히 진행되었으나, 생태계 영향 및 취약성, 적응대책에 대한 연구는 상대적으로 매우 적어 추가 연구가 필요하다(제한적 동의).

2014년 이후 식물생태 연구 중 식물 서식지·분포 영향 및 영향 전망 연구가 다른 연구들에 비하여 상대적으로 활발하였다. 이는 다양한 예측 모형의 활용이 가능해지고 서식지 단위에서 기후변화가 생태계에 미치는 영향을 예측하는 요구가 증가한 결과라고 볼 수 있다. 또한, 분자생태학적 연구나 이차 대사물질 추출을 통한 기후변화의 영향을 파악하는 연구 등 생리생태학적 연구와 생태계의 변화가 건강, 농업 등 타 부문에 미치는 통합적 연구가 시도되었다. 그러나 지난 5년간 이루어진 연구들은 이러한 복잡한 식물 생태계를 이해하고 적응대책을 수립하기에는 매우 제한적인 정보만을 제공하고 있다.

또한, 동물 연구와 관련해서는 2014년 이후 한국 내 다양한 동물들의 분포 자료를 바탕으로 기후변화 시나리오에 따른 예측 연구가 다수를 차지하였다. 그러나 동물 종의 분포 확대에 관한 예상 시나리오는 많았지만 분포 확대로 인한 생태계 영향 및 취약성, 그리고 적응대책에 대한 연구는 찾기 어려웠다.

아울러, 기후변화 취약 생태계의 적응 및 대책 사례를 소개하며 우리나라에 적용될 수 있는 정책의 방향성을 제시한 연구 등이 새롭게 소개되어 기존 2014년 보고서에서 비교적 미진한 성과를 나타냈던 적응대책 관련 연구가 점차 보완되고 있는 것으로 판단된다.

4. 산림



4.1 서론

2019년 IPCC에서 발간한 「기후변화와 토지 특별보고서 (SRCCL)」에 따르면, 산림을 포함한 토지이용 부문은 인간 활동에 의한 온실가스 배출량의 23%를 차지하고 있으며, 기후변화에 따라 산림생태계의 종 다양성 감소와 산림 관련 재해 증대가 전망되는 등 전지구적인 심각성을 제시하였다. 본 보고서는 국내에서 진행되고 있는 연구 동향 및 검증된 과학적 사실들을 통해 기후변화 영향과 미래 산림의 변화를 기술하였다. 또한 취약성의 원인과 이를 줄일 수 있는 적응 옵션을 다각도로 검토하여 가능한 방안들을 정리하였다.

기후변화가 산림의 성장에 영향을 미치고 있으며, 이러한 영향은 수종별로 다른 것으로 확인되었다. 전반적으로 주요 침엽수종(소나무, 낙엽송, 잣나무 등)은 기후변화의 영향으로 성장률이 감소하는 반면, 참나무류는 증가하는 현상이 관측되었다. 동일 수종 내에서도 환경 및 입지적 요인의 이질성에 따라 기후에 대한 성장 반응이 다르게 나타나고 있다. 또한, 지난 30년간 연평균기온이 상승함에 따라 군락지 감소, 개화 시기 변화 등 산림 구성에서 변화를 확인할 수 있다. 특히 국내 주요 산지에 분포하는 아고산 침엽수림의 감소가 두드러졌는데, 최근 20년(1990년~2010년) 동안 약 25%의 면적이 감소하였다. 반면, 난온대 상록활엽수림대 면적은 과거 20년(1968년~1987년) 대비 최근 20년(1988년~2007년) 약 2.7배 증가하였다.

4.2 관측된 영향

기온 및 강수량의 변화에 따라 지역별, 수종별 산림 성장, 분포, 재해 발생 패턴의 변화가 나타났으며 (견고한 동의), 넓은 지역에서 침엽수종의 성장 및 분포 감소가 관측되었다(중간적 동의).

우리나라는 성공적인 국가 조림 사업을 통해 산림 탄소 저장량과 흡수량이 증가하였으며, 임령의 증가와 기후변화 영향에 의해 탄소 흡수 및 토양 탄소저장량 패턴의 변화가 관측되고 있다. 수목의 지상과 지하부, 고사목, 낙엽층, 토양 등에 저장되는 산림 탄소 저장량을 측정하기 위해 위성 영상분석, 공간통계 및 모델링 방법 등을 이용하여 공간과 환경의 이질성에 따른 산림탄소량을 정량화하기 위한 연구가 진행되고 있다(그림 4.1).

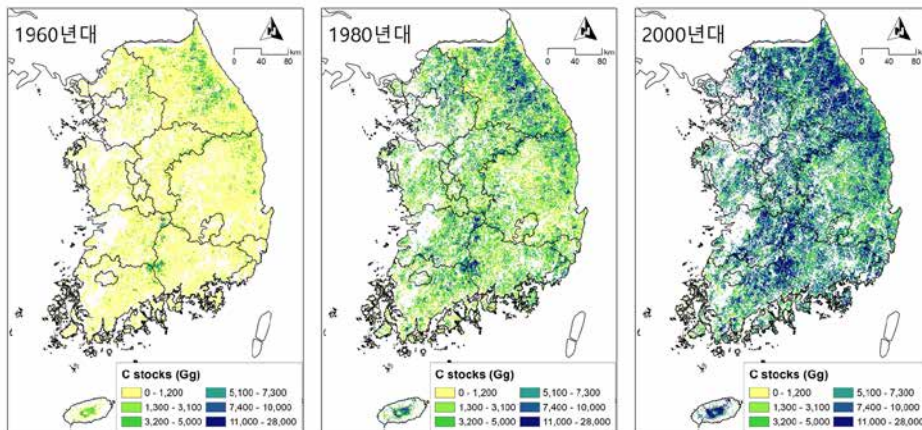


그림 4.1 우리나라 산림 탄소 저장량 변화 추정(Kim et al., 2019).

산사태와 산불 등 산림재해 면적과 복구 비용은 지속적으로 증가하고 있으며, 기후변화의 영향으로 산사태에 대한 취약성은 계속 증가할 것으로 예상된다. 건조 기간과 세기의 증가는 대형산불 출현의 원인이 되었으며, 2000년대에는 도시 주변을 중심으로 많은 산불이 발생하였다. 특히 강원 영동지역의 2000년대 산불 발생 횟수와 피해면적은 1990년대 대비 1.7배, 5.6배 각각 증가하였다. 병충해의 경우 2000년대 이후 소나무재선충병과 참나무시들음병이 크게 확산되었으나, 적극적인 방제로 2010년대 중반부터 감소추세를 나타내고 있다.

4.3 영향 전망

기온증가로 인해 침엽수림의 성장감소가 예측되나 (견고한 동의), 활엽수림의 경우 생장이 증가될 것으로 추정되었다(중간적 동의). 아고산림의 급격한 감소와 온난대림의 복상이 예상되고 있다(견고한 동의). 탄소저장량은 지속적으로 증가할 것으로 추정되나, 탄소흡수량은 감소할 것으로 추정되었다 (견고한 동의).

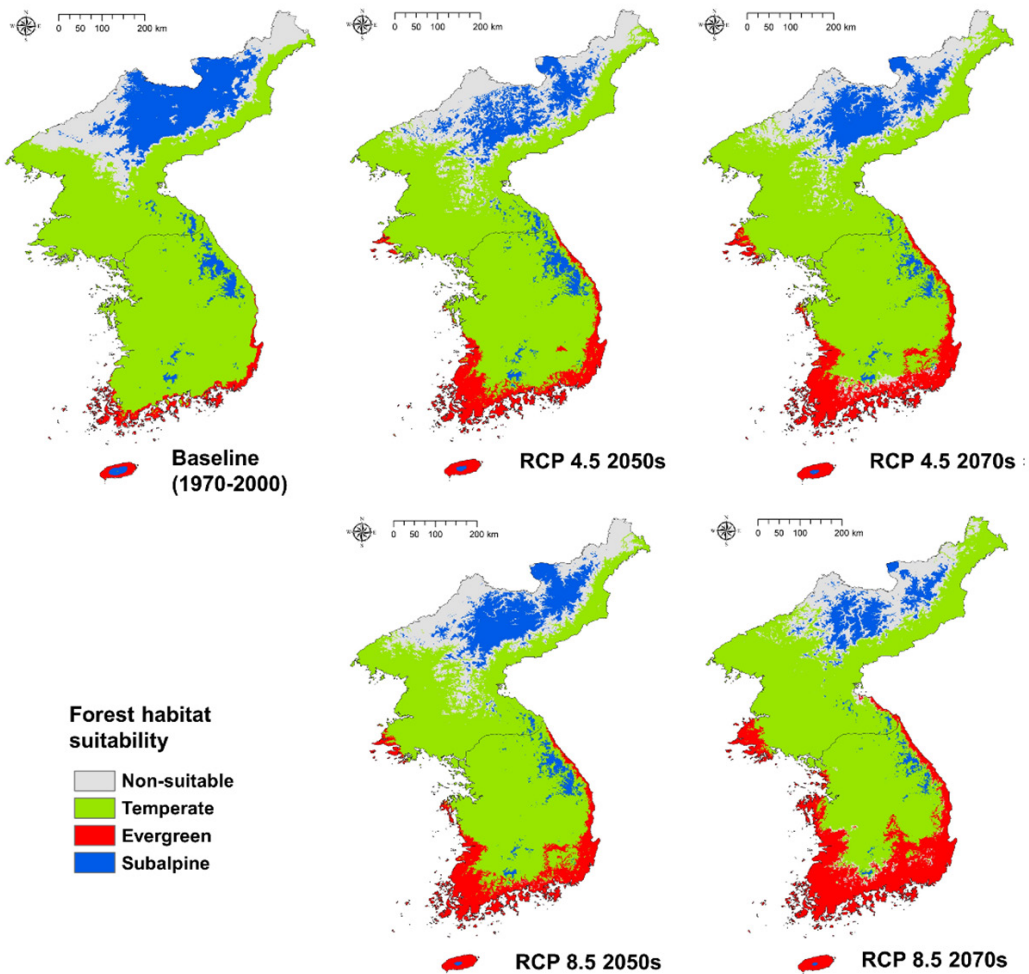


그림 4.2 한반도 산림 서식 적합도 예측 결과 (Lim et al., 2018)

미래 산림 생장을 예측한 결과 아고산 및 고산지대를 제외한 대부분의 지역에서 침엽수의 생장이 현재보다 감소할 것으로 추정되었다. 반면 참나무의 생장은 전국적으로 증가될 것으로 예측되었다. 임목 고사율의 경우 침엽수림은 봄과 겨울철 기온이 1°C 증가할 때마다 고사율이 1.01~2.26% 정도 증가할 것으로 예측되었으며, 참나무의 경우 통계적인 유의성은 검증되지 않았다. 산림 생장에 의한 임목 축적 증가는 매년 기후 영향이 계속 누적되어 나타나기 때문에 시간이 흐를수록 수종별, 지역별 차이가 뚜렷하게 관측될 것으로 예상된다.

잠재 수종분포에 대한 미래 장기모의에서는 전반적인 기온상승과 최한월 기후의 변화로 아고산지역의 수종과 냉온대림이 크게 감소하고, 온대 수종 및 아열대 수종은 크게 확대되는 것으로 나타났다. RCP 8.5 시나리오에 따르면, 2050년대에 소나무림 지역이 현재보다 8%가량 줄어들 것으로 전망되었고, 2080년대에는 15%가 줄어드는 것으로 나타났다. 서식 적합도 개념으로 미래 영향을 평가한 결과에서는 RCP 8.5 시나리오의 경우 온난대 상록수림이 북한 동해와 서해안 지역에 모두 분포할 수 있을 정도로 북상하는 것으로 전망되었다. 또한 남한의 아고산지역 수목의 서식 적합성이 지속적으로 감소하여 먼 미래에는 매우 좁은 지역에만 생존에 적합할 것으로 예측하였다(그림 4.2).

산림의 전체적인 탄소저장량은 계속해서 증가할 것으로 추정되나, 탄소흡수량은 임령과 기온의 증가에 의해 현재보다 감소할 것으로 추정되었다. 대부분의 연구에서 토양 탄소저장량이 감소할 것으로 전망하였으나, 수목의 지상부의 탄소저장량은 모델에 따라 기후변화 영향이 다르게 예측되었다.

산림재해 측면에서는 연 변동성이 큰 수문학적 변화에 따라 재해 발생의 연편차 및 지역편차가 크게 나타날 것으로 예측되었으며, 호우와 건조 기간 증가로 인해 대형 산사태나 산불의 발생 가능성이 증가할 것으로 예상되었다. 기후변화에 따라 매개종의 우화 시기 또한 변화가 예상되며, 이로 인해 병해충의 북상과 발생위험도 증가 등의 가능성이 제시되었다.

4.4 취약성의 주요 원인

침엽수림이 기후변화에 취약할 것으로 분석되었으며(견고한 동의), 생육 기간 및 최한월 온도 증가에 원인이 있는 것으로 나타났다(중간적 동의). 산림재해 측면에서는 기후뿐만 아니라 인위적인 활동이 취약성의 원인이 되고 있다(제한적 동의).

산림 생장의 기후변화 취약성 평가는 민감도에서 적응 능력을 감하는 식을 주로 적용해왔다. 민감도는 미래 기후와 현재 기후에 따른 잠재 성장량의 차이가 사용되었으며, 적응 능력은 산림 관련 사회기반시설 및 관리 강도 등이 활용되었다. 전반적으로 우리나라의 주요 활엽수림인 참나무류보다 침엽수림이 기후변화에 취약할 것으로 분석되었으며, 특히, 상대적으로 기온 상승이 높을 것으로 예상되는 해안가 및 남부 저지대 지역에서 침엽수림의 생장 취약성이 높을 것으로 예측되었다.

기후변화에 의해 잠재 수종 적합 지역이 축소되는 지역을 취약성이 높은 곳으로 정의하였을 때, 아고산림이나 침엽수림의 경우 취약성이 증가할 것으로 예상되고, 온난대림의 경우 취약성에 큰 변화가 없을 것으로 예상된다. 산림분포 취약성의 주요 원인은 온난화에 따른 온량지수, 최저온도지수 등과 같은 생육 기간 및 최한월의 온도 증가로 분석되었다.

산림의 탄소저장량 및 흡수량의 취약성은 임목축적 변화량과 밀접한 관련이 있으므로, 산림생장 취약성과 높은 상관성이 있을 것으로 예측된다. 다만, 대부분의 연구에서 미래 기온 증가가 토양내 탄소를 감소시킬 것으로 예측하고 있으며, 토양의 기후변화 취약성을 낮추는 방안뿐만 아니라, 이러한 현상이 산림 생태계와 물질의 순환에 미칠 영향을 통합적인 관점에서 분석해볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

한편, 산사태 취약성의 주요 요인으로는 사면경사, 토양특성, 강우강도, 식생활력도, 산림관리수준, 토지이용 등이 있는 것으로 나타났다. 즉, 산사태의 취약성을 낮추기 위해서는 경사면 관리와 산림 관리가 동시에 필요한 것으로 판단된다.

산불은 대부분 인위적 요인 발생하지만, 피해 규모는 기후요인과 관련이 있는 것으로 나타났다. 산림 병해충 취약성은 소나무 재선충병과 참나무 시들음병의 경우 매개충의 발육 단계와 계절별 기후요인에 원인이 있는 것으로 나타나며, 흉고직경이 크고 인구가 많은 지역일수록 병해충 피해율이 높아지는 것으로 나타났다.

산림재해 측면에서는 공통적으로 위험 모니터링과 적극적 대응이 가장 중요한 적응 옵션으로 다뤄지고 있으며, 산사태의 경우 사방시설과 산림관리, 산불의 경우 소방 인프라 구축과 산림 연료 관리 등이 주요한 적응 옵션으로 제시되고 있다.

4.5 적응 옵션

취약성과 위험을 낮출 수 있는 부문별 관리방안을 도출하고 이행하는 적응이 필요하다(중간적 동의). 국가 차원의 기후변화 적응대책 및 국제사회의 요구 등을 고려한 산림관리와 공간계획이 요구된다(중간적 동의).

산림생장과 관련하여, 적극적인 관리와 시업이 산림 생장량 및 탄소 저장량의 유지 및 증진에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 전망되고 있다. 적극적인 숲 가꾸기를 통해 건강과 기후변화 적응 능력을 높일 뿐만 아니라, 불균형한 산림의 영급구조 개선과, 목재 시장의 활성화 및 에너지 공급에도 기여할 수 있을 것으로 분석되고 있다.

산림 수종분포 취약성을 낮추기 위해서는 취약성이 높은 수종을 보호하거나 미래 적정 수종으로 갱신하여 관리하는 방안을 고려할 수 있다. 보호 방안으로는 숲 가꾸기, 특별 보호수종 관리 등의 인위적 수종관리를 통해 산림의 생육환경을 개선함으로써, 기후의 부정적인 영향을 최소화시키고 적응 능력을 높여 취약성을 낮추는 관리방안을 적용할 수 있다.

임령과 기온의 증가에 따라 줄어드는 산림의 탄소흡수를 개선하기 위한 기술개발은 산림 부문의 좋은 적응옵션이 될 수 있다. 산림의 탄소저장량을 최대화하고, 수확된 목제품을 통해 타 자재를 대체하는 방법 등 산림탄소 최적화 전략에 대한 연구도 진행되어야 할 것이다. 바이오에너지 탄소포집 저장기술(BECCS)은 산림 선진국에서 시도하고 있는 좋은 적응옵션 중 하나로, 환경친화적이며 기술장벽이 낮은 장점이 있다.

5. 농업



5.1 서론

지리적, 계절적 기후여건의 변화는 작물생산 적지를 이동시키고, 잡초와 병해충의 종류 및 발생량 변화, 토양 비옥도 변화, 한발 정도의 변화 등 농업생산에 직·간접적인 영향을 준다. 또한, 대기 중의 이산화탄소 농도 증가와 기온 상승은 작물의 광합성에 의한 물질 생산, 동화물질의 각 기관으로의 배분, 발육속도, 물이용 효율 등에 영향을 주어 작물의 생산성에 직접적인 영향을 미치며, 이러한 기후변화와 그 영향은 지역적으로 매우 다르게 나타날 것으로 예상된다. 본 보고서에서는 한반도 지역을 대상으로 식량작물, 원예작물, 병해충, 잡초 4개 부문에 대한 연구결과를 정리하여 기술하였다.

5.2 관측된 영향

기후변화로 인한 심각한 피해는 아직 관측되지는 않았으나, 작물의 재배지 북상, 월동·외래해충의 발생 증가, 잡초의 분포 양상 변화 등이 관측되고 있다 (견고한 동의).

식량작물의 경우 아직 심각한 수량 감소가 관측되지는 않았으나, 과거 자료를 이용한 통계적 분석에 따르면, 온도 상승, 일조 감소, 가뭄 증가 등이 수량에 악영향을 미치고 있는 것으로 보고되었다. 그러나 통계적 기법에는 설명 변수인 기상 요인간에 상호 상관성이 높아 수량에 미치는 영향 정도를 정확히 구분하기 어려운 문제가 존재하고 재배기술의 발달과 신품종 개발 등 생산성 향상의 기여에 대한 고려가 미흡하여 관측된 수량의 변동이 기후변화로 인한 것인지는 명확하지 않다.

원예작물의 경우 기온상승과 일조시간 감소, 이상기상의

빈도 증가 등이 채소와 과수의 수량과 품질에 영향을 주고 있으며, 과수의 재배지는 점차 북상하고 있다. 주로 남부지역 기온 상승으로 고랭지 배추와 무 재배 면적은 2000년대 이후 지속적으로 감소하여 절반으로 축소되었으며, 감귤나무의 생육시기는 봄철(2~4월) 기온 상승에 따라 점점 빨라지고 있다.

병충해의 경우 기온이 상승함에 따라 고추 역병과 탄저병, 양파 흑색썩음균핵병 등의 발생률이 증가하고, 월동·외래해충들의 발생이 증가하고 있다. 감자뽕나방은 70년대 후반 남부지역에서만 발견되었으나 최근 조사시(2009~2012) 평균 기온상승(0.9도)으로 서식지가 북상하여 중북부 지역에도 많은 피해를 발생시켰다.

잡초의 분포 양상은 외래 잡초와 제초제 저항성 잡초들이 증가하고 있는 것으로 관측되었으며, 1971년 조사시 마디꽃, 쇠털골 등 일년생 잡초에서 2013년 제초제 저항성 잡초인 피와 물달개비가 최우점 잡초가 되고 다년생잡초의 발생비율이 높아지고 있다. 이와 같은 현상은 기후변화와 더불어 재배작물의 변화, 재배법의 변화, 제초제 사용의 변화 등이 기여하였을 것으로 보인다.

5.3 영향 전망

작물의 재배적지는 점차 북상할 것이며, 21세기 말에 이르면 벼, 콩, 옥수수, 감자, 고추, 배추의 생산성은 감소하고, 양파의 수량은 증가할 것으로 전망된다 (중간적 동의). 병해충과 잡초의 발생 및 피해 양상은 계속해서 변화될 것으로 전망된다(견고한 동의).

식량작물에 대한 영향 전망 연구의 일환으로 다양한 재배환경 조절실험과 작물생육모델을 이용한 모의실험이 수행되었으며, 월동작물을 제외한 벼, 콩, 옥수수, 감자 등 식량작물은 21세기 중반까지는 수량이 일정 수준 유지

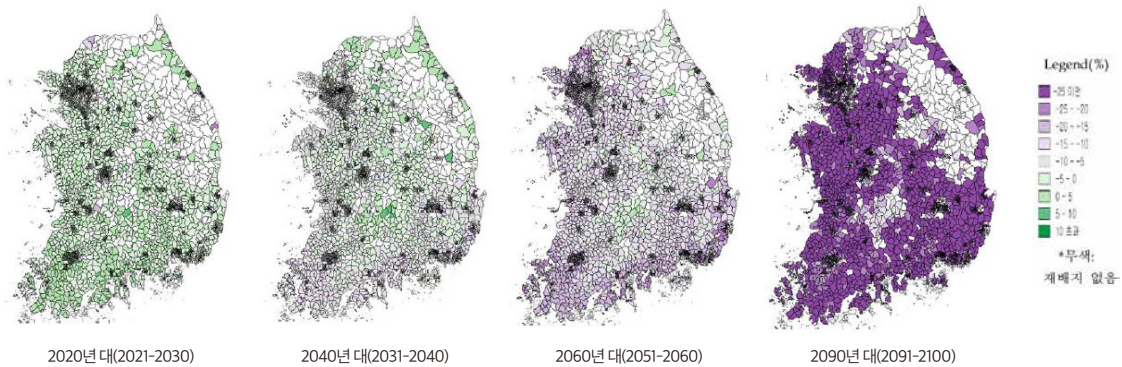


그림 5.1 RCP 시나리오(1km 격자)를 이용한 중만생종 벼의 단위 수량 변화(이변우 등, 2017).

되거나 오히려 증가하고, 21세기 말에 이르면 벼는 25% 이상, 옥수수는 10%~20%, 여름감자는 30% 이상 등 급격한 수량 감소가 예상된다(그림 5.1).

반면, 월동 작물인 보리의 경우 작물생육모델을 이용한 모의 연구에서는 기후가 변화함에 따라 수량 증가가 예상되었으나, 재배환경 조절실험에서는 월동기 온도 상승이 생식생장기로의 전환을 촉진하여 분얼(결가지 발생)과 수량의 감소를 야기하고, 등숙기 고온은 보리의 수량과 품질에 악영향을 미치는 것으로 나타났다. 추후 재배환경 조절실험을 통해 월동 작물 피해의 생물학적 기작에 대한 연구와 그 기작이 작물생육모형에 잘 반영되고 있는지를 확인하고, 기후변화의 영향을 재평가하는 과정이 필요할 것으로 보인다.

과수의 경우 기후변화에 따라 사과, 배, 포도, 부지화 감귤 등의 재배적지는 줄어드는 반면 복숭아, 단감, 온주밀감 등의 재배적지는 북상하여 늘어날 것으로 예측되었다. 채소의 경우 고추와 배추는 고온피해가 예상되며 마늘의 경우 한지형은 재배적지가 점차 사라질 것이나, 난지형은 재배적지가 북상하여 적지 면적은 증가할 것이며, 양파는 고온조건에서 수량이 증가할 것으로 예측되었다.

기후변화에 따라 톱다리개미허리노린재, 썩덩나무노린재 등과 같이 발생 위험이 감소하는 병해충이 있는 반면, 호리허리노린재와 가로줄노린재 등 발생 위험이 크게 증가하는 병해충도 있어, 향후 농경지에서 병해충 발생 양상의 변화가 예상된다. 1년 동안 발생할 수 있는 병해충의 세대수가 크게 증가하고 겨울철 최저기온 상승에 따른

꽃매미 등 월동, 외래병해충 발생의 증가에 따라 피해가 커질 가능성이 존재한다.

기후변화에 따른 잡초 분포 변화에 대한 연구는 미흡하지만, 외래 잡초 중 청비름, 실망초 등은 점차 분포가 확대될 것으로 예상되는 등 새로운 잡초의 분포 확대 및 위해성이 증대되어 방제법 개발이 필요할 것으로 보인다.

5.4 취약성의 주요 원인

벼는 출수기와 등숙기 고온, 감자는 괴경형성기 고온, 과수는 과실 착색 초기 고온과 월동기 온도상승이 생장에 악영향을 미칠 것으로 판단된다(중간적 동의). 기후변화는 작물, 병해충, 잡초의 발생과 생육 양상, 식물 병해충의 발병력, 기주 식물의 저항성, 제초제의 방제 효율 등을 변화시킬 것으로 판단된다(중간적 동의).

식량작물은 특정 생육 시기의 고온 피해에 취약한 것으로 알려져 있다. 벼의 경우, 아직까지는 고온 등숙만 문제가 되고 있지만, 미래 기후 조건에서는 고온 불임의 문제가 커질 것으로 예상된다. 감자는 괴경형성기 고온으로 인한 괴경 발달장애가 문제가 되는 것으로 보고되었다.

과수에서의 취약성은 과실 착색 초기 고온에 의한 착색 불량과 월동기 온도 상승으로 인하여 생물계절이 앞당겨져

발생하는 동상해 등으로, 이에 대응하기 위해 온도 상승에 따른 생물계절 변화의 품종 간 차이에 대한 연구가 이루어지고 있다.

미래 기후에서의 병해충 피해 정도는 병해충 발생의 규모 및 횟수와 더불어 병해충 발생 시기와 작물 생육단계에 의해 결정될 것이며, 식물 병해충의 발병력과 기주 식물의 저항성은 모두 기후변화에 영향을 받을 것으로 판단된다.

일반적으로 농경지에서 문제가 되는 잡초는 작물에 비해 환경에 대한 적응성이 뛰어나기 때문에 기후변화 조건에서 생육이 왕성해질 위험이 있다. 또한, 기후변화 조건에 따라 제초제의 잡초에 대한 활성정도가 감소하거나 작물에 대한 약해가 증가하는 경우가 있어 제초체를 이용한 방제효율이 낮아질 수 있다.

5.5 적응 옵션

환경변화에 따른 작물, 병해충, 잡초의 발생과 생육 변화를 정량화하고, 농업생태계 모델을 구축하여 영향 전망을 고도화시키며, 정성적 평가가 이루어진 환경 스트레스에 대해서는 예상되는 피해를 최소화할 수 있는 작부 체계, 재배 시기, 재배 관리 기술, 병해충 및 잡초 관리 기술, 내재해성 품종 등을 개발하여야 한다(견고한 동의).

식량작물 관련 적응 옵션은 지역별 기후변화에 적합한 작부 체계 및 재배 관리법 개발과 내재해성 품종 개발이 있으며, 최근에 고온 저항성 벼·감자 품종들이 육성되고 있어, 향후 현재 이용되고 있는 감수성 품종들을 점진적으로 대체할 것이다.

기후변화가 작물에 미치는 영향 연구 결과는 재배환경 조절실험과 작물생육모델을 이용한 모의실험을 통해 꾸준히 발표되고 있으나, 환경 스트레스가 작물에 피해를 주는 기작에 대한 정량적 연구는 미흡한 상태로, 이로 인해 작물생육모델에 포함된 여러 환경 반응식들이 국내에서 검증되지 않은 채 이용되고 있다. 따라서 작물생육모델의 환경반응식들에 대한 개선과 검증이 이루어져야 신뢰성 있는 기후변화 영향평가가 이루어질 수 있을 것이다.

원예작물 관련 고온 피해를 경감시키기 위한 적응 옵션은 재배지 이동, 적극적인 관수, 지하수를 이용한 근권 냉방, 내재해성 품종 육종 등이 있다.

병해충 관련 적응 옵션은 전국 단위 병해충 모니터링 및 예찰 시스템의 구축과 관리대상 병해충 종수 및 지역의 확장, 기후변화 조건에 적합한 살충제 선발, 병해충 저항성 품종 개발 등이며, 최근에는 여러 병해충에 저항성이 있는 복합 내병충성 벼 품종이 개발되어 병해충 피해 감소에 도움이 될 것으로 기대하고 있다.

잡초의 경우 기후변화에 중점을 둔 연구보다는 단일 제초제 연용 등으로 발생하는 제초제 저항성 잡초에 대한 연구들이 활발하게 진행되고 있는 상황이다. 잡초 관련 적응 옵션은 잡초 발생에 대한 모니터링과 예찰 시스템 구축이 우선되어야 할 것이며, 잡초 발생 양상의 변화에 따른 제초제 처리 양식에 변화를 주는 것이 필요할 것이다.

병해충 및 잡초 발생에서도 모니터링 자료와 환경실험 자료를 이용해 기상요인이 병해충 및 잡초 발생에 미치는 영향을 정량화하고, 발생위험모델을 구축하여 작물생육 모델과 결합한 뒤, 농업생태계 전반에 대한 기후변화 영향평가 시뮬레이션이 이루어져야 할 것이다. 이와 동시에 환경 스트레스에 의한 피해를 최소화할 수 있는 작부 체계, 재배 시기, 재배 관리 기술, 병해충 및 잡초 관리 기술, 내재해성 품종 등을 개발하여 농작물 생산 안정성 및 기후변화 대응력을 향상시켜야 한다.

6. 해양 및 수산



6.1 서론

바다는 대기 중의 이산화탄소와 열을 흡수하고 재분배하면서 지구 시스템 내의 기후 조절자 역할을 한다. 2019년 발간된 「IPCC 해양 및 빙권에 관한 특별보고서」에서는 해양 온난화, 해수면 상승 및 해양 산성화가 지속되고 있음을 제시하였고, 향후에도 기후변화로 인하여 해양은 물리적, 생화학학적, 생물학적 및 수산 부문에서 큰 변화가 지속될 것으로 예측하였다.

국내 연구는 일부 해수 물성의 변화에 대한 정량적 분석 연구가 일부 수행되었으나, 해양 생태계 변화 관련 연구는 정성적 분석 수준에 머물러 있는 실정이다. 이러한 제한적 상황에서 우리나라 해역에서 최근 연구된 해양환경의 변화 상태를 정리하였고 영향 전망을 기술하였다. 취약성 평가 부분에서는 2014년 이전에 발간된 문헌을 참고하여 취약성 평가 방법론부터 설명에 포함하였다.

6.2 관측된 영향

우리나라 주변 해역에서 표층 수온 상승과 해양 산성화는 전 세계 평균 수치에 비하여 빠르게 진행되고 있으며(견고한 동의), 표층 염분은 감소하는 추세이다(중간적 동의). 표층 수온 상승률은 전 세계 평균보다 높고(견고한 동의), 최근 이상 고수온 현상이 심화되었다(제한적 동의). 해수면 상승은 제주도와 동해 연안에서 상대적으로 크다(중간적 동의).

우리나라 주변 해역에서 질산염 농도가 다소 증가하는 것으로 나타나 1차 생산력의 변화가 있을 것으로 예측된다(중간적 동의). 해역별 어획량은 점차 감소 추세이며(제한적 동의), 수온 상승과 함께 어종의 공간적 분포 및 양식에 적합한 해역이 북상하는 추세이다(견고한 동의).

최근 49년간(1968년~2016년) 우리나라 주변 해역의 표층 수온 상승은 약 1.23℃로 전 세계 표층 수온 상승 0.47℃에 비하여 약 2.6배 높은 수준을 보이고 있으며, 해역별로는 동해, 서해, 남해 순으로 높은 수온 상승 경향을 나타내고 있다. 또한, 저위도에서 고위도로 갈수록 수온 상승률이 높으며, 여름에 비하여 겨울철 수온 상승이 2~3배 이상 높게 나타난다. 2016년 이후 여름철 이상 고수온 현상이 지속적으로 나타나고 있으며, 이상 고수온이 나타나는 시기의 월평균 수온은 평년에 비하여 1℃~4℃ 높은 추세를 보인다.

우리나라 연안의 지난 30년간(1989년~2018년) 평균 해수면 상승은 2.97 mm/년이며, 지역별로 큰 차이를 보여 제주와 동해에서 상대적으로 높은 상승 추세를 보이는 반면, 서해에서는 상대적으로 낮은 상승 추세를 나타내고 있다. 하지만 조위 관측소에서 관측된 해수면 변화와 인공위성 해면고도계 자료간에는 차이가 있는 것으로 확인되었다.

표층 염분은 서서히 감소하는 추세로, 여름철 서해와 남해의 표층 염분 감소율이 높게 나타나고 있으며 이는 양자강 유출수의 변동이 영향을 미친 것으로 판단된다. 동해의 표층 이산화탄소 분압은 전 세계 평균에 비하여 높은 증가율을 보이고 있으며, 표층 pH 감소도 다른 해역에 비하여 훨씬 높아 해양산성화가 빠르게 진행되고 있음을 보이고 있다.

우리나라 주변 해역에서 1차 생산력 변화는 해역별 차이가 있으며, 생산력 변화에 직접적 영향을 끼치는 질산염의 농도가 다소 증가하여 변화가 발생한 것으로 예측된다. 우리나라 주변해 일차생산력의 계절적 변동을 살펴보면, 황해 북부가 가장 높고 다음으로 동중국해 연안 그리고 동해 남부 해역이 상대적으로 높은 것으로 나타났다(그림 6.1).

해양의 체제변환(regime shift)에 의한 물리·화학적 환경 변화는 우리나라 주변 해역의 플랑크톤에서 어류까지 해양생태계 전반에 걸쳐 변화를 유발하고 있으며, 이러한 해양환경 변화는 수산자원의 분포, 종조성 뿐만 아니라

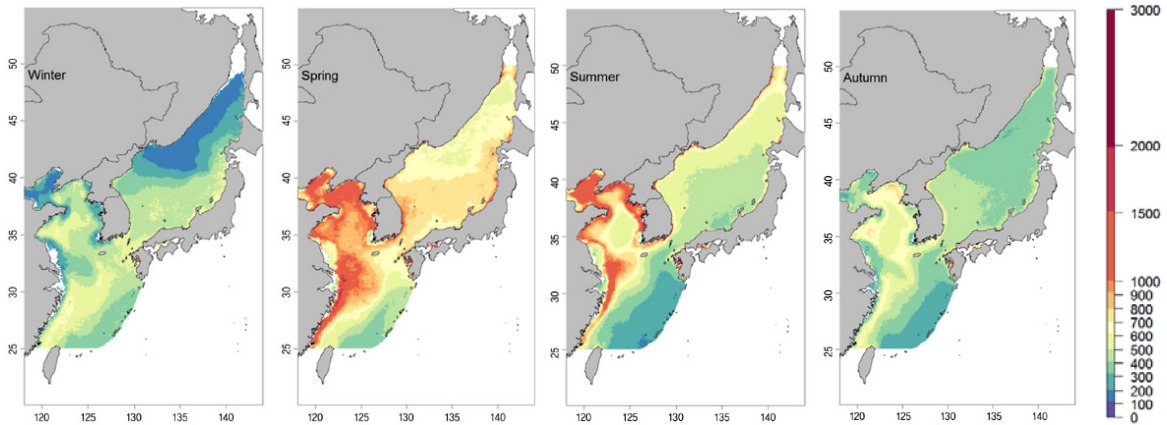


그림 6.1 한국 주변 해역의 1차 생산력의 계절변화 (1998년~2014년) (해양수산부, 2019).

생산량의 변화에도 영향을 끼친다. 우리나라 연근해어업의 총 어획량은 1980년대 152만 톤, 1990년대 137만 톤, 2000년대에는 115만 톤에서 2017년에는 약 93만 톤 정도로 낮아지는 추세이며, 해역별로 남해, 동해, 서해 순으로 어획 생산량이 높다.

수온 상승은 어종의 공간적인 분포 변화를 초래하며, 삼치와 방어 등 대형어종을 포함하여 대체적으로 어장이 북상할 것으로 예상된다. 천해양식 생산량은 2005년 100만 톤에서 2018년 200만 톤 이상으로 지속 증가 중이며, 해조류 양식은 점차 증가하는 반면, 어류 양식은 점차 감소하고 있는 추세이다. 또한, 참가리비 등과 같은 양식 대상종은 양식에 적합한 해역이 점차 북상하는 추세이다. 한편, 기후변화의 영향이 대량 폐사를 일으키는 주요 원인으로 분석되고 있다.

6.3 영향 전망

표층 수온은 전 지구 평균보다 훨씬 높은 수준으로 상승하고, 이상 고수온 현상은 더욱 빈번히 발생할 것으로 전망된다(제한적 동의). 표층의 pH, 산소 및 영양염의 감소가 심각하게 나타날 것으로 전망된다(제한적 동의). 수온 상승이 지속될 경우 미래 해양 환경에서는 성층 강화 등으로 영양염 공급과 일차 생산이 감소하며 적조 발생 해역이 점차 광역화될 것으로 전망된다(중간적 동의).

우리나라 주변 해역의 표층 수온은 2100년에는 현재보다 약 2°C~6°C까지 상승하는 것으로 나타났으며, 특히 동해 중부 이북 및 황해 북부 해역을 중심으로 수온 상승이 높을 것으로 나타났다. 이는 전 지구 평균 표층 수온 상승 예측치보다 훨씬 높은 수준으로 현재까지 수온 변화도 우리나라에서 높게 나타났으며, 미래에도 수온 상승이 높게 나타날 것임을 의미한다. 이상 고수온 현상은 빈도, 기간, 공간적 범위와 강도 등이 미래 지구 온난화 상황에서 더욱 증가할 것으로 예상되며, 이와 같은 현상은 해양생물, 수산업 및 생태계 등에 심각한 영향을 줄 것으로 예측하고 있다.

우리나라의 미래 해수면 상승은 전 지구 평균 해수면 상승전망 추세와 유사하게 37.8 cm ~ 65 cm 상승할 것으로 전망되며, 남해의 해수면 상승이 상대적으로 크게 일어나고, 서해의 해수면 상승이 상대적으로 가장 낮을 것으로 예측되었다.

전 지구적으로 표층 pH 저하는 북극과 대서양 고위도 해역 및 태평양 해역에서 높게 나타나고, 표층의 pH의 계절 변화 진폭은 고위도 해역에서 더욱 변동이 클 것으로 예상하였다.

해양에서의 산소 역시 물리적 영향 및 생지화학적 영향에 의하여 향후에 급격한 변화가 있을 것으로 예측하였으며, 영양염의 표층 부근에서의 감소 예측은 해양 성층의 강화가 큰 영향을 줄 것으로 판단하였다.

지구온난화가 진행될수록 해양의 성층 강화와 수직 혼합 약화로 영양염 공급이 감소하고 1차생산도 감소할 것으로

보인다. 해양 산성화와 저산소화 현상이 현재보다 심화되어 개체군 수준에서 생리·생태에 다양한 영향을 미치게 되어 결국, 생물 생체량과 종 다양성 감소를 유발할 것으로 예상된다.

대형 해파리와 함께 가장 대표적인 유해생물인 적조는 불규칙한 주기를 가지고 우리나라 전 연안에서 발생하였으며, 대표적인 적조생물인 코클로디니움(C. polykrikoides)은 1982년 남해안의 진해만에서 최초 발생한 이후 점차 광역화하고 있는 추세이며, 수산양식생물에 상당한 피해를 발생시키고 있는 것으로 알려져 있다.

6.4 취약성의 주요 원인

남해안 연근해 어업의 경우 근해어업보다는 연안 어업이 대체로 기후변화 취약성이 높게 나타났다 (중간적 동의). 양식업의 경우 김, 미역과 같은 해조류가 가장 취약하고, 해조류 양식이 이루어지는 지역 중 특히, 서해안 중부지역에서 취약성이 높게 나타났다 (중간적 동의).

남해안의 연근해어업 중 주요 20개 업종(근해 14개, 연안 6개)을 대상으로 취약성 평가를 실시한 결과, 기후변화 시나리오에 따라 업종별 기후 노출의 정도에 따라 취약성이 다소 상이하게 나타났다. RCP 8.5와 RCP 4.5 두 시나리오 모두 전체적으로 근해어업보다는 연안어업의 취약성이 대체로 높은 것으로 나타났나 연안어업에 대한 기후변화 적응대책 마련이 더욱 시급한 것으로 판단된다.

양식어업의 경우 우리나라 주요 해면 양식 품종 14종을 대상으로 각 품종을 주요 양식 지역별로 구분하여 취약성 평가를 실시하였다. 그 결과, 기후 노출이 크게 나타난 김, 미역과 같은 해조류가 가장 취약하고 이들 품종을 양식하는 지역 중 재난피해 영향을 크게 받는 서해안 지역(서천)의 취약성이 특히 높은 것으로 나타났다. 양식어업이 기후변화 속에서도 안정적인 수산물을 공급하기 위해서는 기후변화에 대한 노출과 민감성을 줄일 수 있도록 어디에서 어떤 방식으로 양식하느냐가 중요하다. 그리고 기후변화에 적응할 수 있는 새로운 품종을 개발하는 등 적응 능력을 향상시킬 수 있는 대책이 필요하다.

6.5 적응 옵션

기후변화 적응 옵션으로 실시간 수온관측 시스템의 구축을 확대하여 이상 고수온에 대한 피해 저감에 기여하고 있으며(견고한 동의), 장기적인 수온 상승에 대응하기 위하여 고수온 내성 품종 개발 및 새로운 양식 기술을 개발하여 현장에 적용하기 위한 연구를 진행하고 있다(중간적 동의).

국립수산과학원은 기후변화에 기인한 고수온 및 저수온 현상의 빈번한 발생에 대응하기 위하여 실시간 해양환경 어장 정보시스템을 구축하여 운영하고 있다. 이를 통하여 2017년부터 시행되고 있는 고수온 및 저수온에 대한 특보를 발령하고 양식 밀집해역 및 수온 피해 다발 해역에 대한 실시간 정보를 제공하여 수산업 피해 저감을 위해 노력하고 있다. 또한, 고수온 현상에 대응하기 위해 다양한 양식기술과 양식품종 개발을 추진중이다. 주요 상업성 어종인 넙치, 전복, 조피볼락 등을 대상으로 고수온 내성 양식품종 개발중이며, 방어, 바리과 어류, 돛류 등 아열대성 품종등을 고수온에 강한 미래 전략품종으로 육성할 계획이다.

해면 어류의 바이오플락(미생물활용 수산물 양식법) 양식시스템 개발 및 시스템 관리 기술을 고도화하여 품종별 최적 성장 조건 규명 및 해면 어류 양식품종을 확대하는 등 전략적으로 기후변화에 대응하기 위한 기술 개발이 추진 중이다.

유엔식량농업기구(FAO)에서 제시하는 수산 부문 기후변화 적응 활동에는 육상기원 오염물 저감 및 어획 기술의 개발, 가치 있는 어장에 대한 보호와 보존, 안정한 항만 및 물동장 구비, 수산 질병 리스크 관리, 식품 안전성 확보, 보험 등을 포함한 재정 메커니즘 구축, 새로운 수입 가능 품목 개발, 국가 및 지자체 정책의 연계와 프로그램, 공간적인 계획 수립, 불법 어업의 저감, 수산물의 국제적 무역 활동 강화 등의 내용이 포함되어 있으며, 우리나라도 수산업의 기후변화 적응을 위한 다양한 산업 육성이 필요할 것으로 판단된다.

7. 산업 및 에너지



7.1 서론

우리나라는 압축적 경제성장을 지원하기 위해 구축된 기존 대규모 집중형 에너지 공급 정책으로 에너지 다소비, 온실가스 및 오염물질 다배출 구조가 정착되어 있다. 에너지통계연보에 따르면, 2017년 기준으로 우리나라의 전체 에너지 소비 중 산업부문의 비중은 61.7%(원료용 포함)로 OECD 평균인 31.3%에 비해 매우 높은 수준이며 감소세를 보이는 다른 나라와 달리 지속적으로 상승하는 추세에 있다. 1인당 에너지 소비는 1990년에 OECD 평균의 50% 수준이었으나 2017년에는 140% 수준으로 증가하였으며, 일본과 독일을 각각 2001년, 2002년에 추월하고, 2008년에는 OECD 평균을 추월하였다. 따라서 기존 에너지 정책이 지속될 경우 미국과 유사한 에너지 다소비형 경제구조로 고착화될 것으로 전망되고 있다. 본 보고서는 다양한 문헌검토를 통해 국내 산업 및 에너지 부문의 기후변화 영향 및 적응 방안을 모색하고 전지구적 감축 목표에 상응하는 정책 방향 설정에 도움을 주고자 하였다.

7.2 관측된 영향

에너지 다소비형 경제구조인 우리나라는 재난이 일어났을 때 재산상 피해가 심각해질 수 있으므로 산업 부문의 기후변화 취약성을 진단하기 위한 평가 방법의 고도화가 이루어지고 있다(중간적 동의)

우리나라는 지진, 홍수 등 자연재해로 인한 피해 규모가 증가하고 있어, 자연재해로 인한 화학물질배출 등 기술재난의 발생 가능성이 높아지고 있다. 폭염과 폭우로 인해 도로의 포장 구조물에 블로우-업(blow-up), 포트홀(pot hole) 현상이 발생하여 교통산업에 큰 영향을 미치며

인명피해 또한 발생하고 있다.

수도권 열섬현상을 분석한 결과, 인공 피복비율이 높은 산업단지, 공항, 저층 고밀지역 등을 중심으로 온도가 높게 관측되었고, 건물간 간격, 높이, 배치 형태 등 지표 성질도 도시 열섬을 심화시키는 요인으로 분석되었다.

기후변화로 인한 이상고온 현상과 국민의 식생활 습관이 변화함에 따라 식중독 발생 패턴이 또한 변화하고 있으며 식중독이 가장 많이 발생하는 곳은 음식점이나, 식중독 환자수는 집단 발생으로 인해 학교에서 많이 발생하고 있다.

에너지 부문에서는 폭염 및 열대야로 7월~8월 건물 부문 전력 소비량이 증가하여 아파트 정전 횟수가 증가하였으며 1월~2월 사이에는 겨울철 한파로 인한 에너지 소비량이 증가한 것으로 나타났다.

기후변화가 에너지, 특히 전력 부문에 미칠 피해에 관한 연구는 다양하게 진행되어 왔으나 대부분 잠재적 위험을 전문가나 일반인의 설문을 통해서 이를 계량화하는 방법을 택하고 있으며, 데이터 기반의 의미 있는 결과를 도출한 연구는 많지 않았다.

7.3 영향 전망

에너지 부문은 크게 폭염 및 한파에 따른 에너지 사용 증가와 관련된 연구와 풍력발전에 대한 기후변화 영향, 대형재난에 따른 송·배전 인프라 파괴 등의 리스크 요소들에 대한 연구가 주로 이루어졌다(견고한 동의).

교통시설 및 건축물에 대한 폭설 위험은 강원도와 충남, 전라도의 해안 지역에서 높은 것으로 나타났고 미래에는 교통시설 및 건축물 모두 기후변화 시나리오와 시간 흐름에 따라 한반도 남부지역과 내륙지역에서 고위험지역이 확대되는 것으로 나타났다.

기반시설 유형	기온변화	강우감소	집중호우	폭풍강도 증가	강풍강도 증가	해수면 상승
수도	⊙	⊙	⊙	⊙	△	△
하수시설	△	⊙	⊙	⊙	△	⊙
전기	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	△
석유/가스	⊙	△	⊙	⊙	△	⊙
유선통신망	⊙	△	⊙	⊙	⊙	⊙
무선통신망	△	△	△	△	⊙	△
도로	⊙	△	⊙	⊙	△	△
철도	⊙	△	⊙	⊙	△	△
교량	⊙	△	⊙	⊙	⊙	△
터널	△	⊙	⊙	⊙	△	⊙

그림 7.1 기후변화에 따른 기간산업 영향(강희정, 2014). (△: 경미한 위험, ⊙: 명백한 위험)

관광산업은 태풍, 폭풍, 집중호우 등에 크게 영향을 받으며, 방문객이 주로 야외에서 활동하는 골프, 스키리조트 등과 같은 레저산업이 가장 취약한 것으로 나타났다.

광공업과 서비스업 부문의 품목별 기후 위험을 예측한 결과, 539개 광공업 품목 중 26.7%에 해당하는 144개 품목과 229개 서비스업종의 28.9%에 해당하는 64개 업종이 기온 여건에 따라 판매량과 경영성장에 유의미한 변화를 겪고 있는 것으로 나타났다.

에너지 부문은 크게 폭염 및 한파에 따른 에너지 사용 증가와 관련된 연구와 풍력발전 등에 대한 기후변화 영향, 대형재난에 따른 송·배전 인프라 파괴 등의 리스크 요소들에 대한 연구가 주로 이루어졌다(그림 7.1).

전력 소비의 경우 온난화에 따라 여름철 냉방 전력 소비 증가 추세와 겨울철 난방 전력 소비 감소 추세의 계절적 대비가 뚜렷하게 나타나고 있으며, 2020년대 중반 무렵부터는 여름철 냉방에 의한 전력소비가 겨울철 난방에 의한 소비를 넘어설 것으로 추정된다. 겨울철 난방을 위한 탄소연료 소비는 온난화에 따라 지속적으로 감소하고 있는 추세이다.

7.4 취약성의 주요 원인

기후변화는 산업 성장을 저해하는 위험요인으로 작용할 수 있으며, 다양한 위험 유형 중에서도 국제협약 및 정책에 의한 ‘규제적 위험’과 기업의 행위에 대한 소비자의 평가가 기업의 신뢰도와 브랜드 가치에 영향을 주는 ‘평판에 의한 위험’이 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 그 외에도 기후변화로 인한 ‘물리적 위험’ 및 ‘소송에 따른 위험’이 존재하는 것으로 나타났다(견고한 동의).

기후변화는 다양한 기업활동과 관련이 있는데, 특히 기업의 물리적·지리적 공간, 생산성, 연구개발투자, 경영전략 등과 관련이 깊다. 또한 기후변화의 영향이 기업의 입지에 따라 다르게 나타나며, 기후변화로 인한 기업 이전 등의 사례도 있는 것으로 나타났다.

폭염 및 고온 현상의 발생 증가는 근로자의 노동생산성을 저해하여 기업의 이윤 뿐만 아니라 해당 지역의 기반산업에도

영향을 줄 수 있고, 기후변화 대응정책은 기업의 연구개발 투자를 이끌어낼 수 있으며, 이로 인해 유도된 기술 변화는 보다 낮은 비용으로 환경목표를 달성할 수 있게 한다.

산업별로 기후변화 취약성을 평가한 결과, 금융, 보건, 항공, 관광, 정유, 가스, 수송 장비 산업 등이 취약한 것으로 나타났다. 산업별로 최대 위험 유형이 상이하게 나타났지만, 가장 많은 기업이 규제적 위험을 최대 위험요인으로 생각하고 있으며, 물리적 위험을 가장 심각하게 받아들이는 산업으로는 농림수산업, 보험, 보건, 관광산업 등으로 나타났다.

7.5 적응 옵션

중앙정부 차원에서는 기후변화 영향과 개연성이 있는 기관 중 공공시설물을 관리·보유하며 기후변화 발생 시 영향이 클 것으로 예측되는 공공기관 및 지방공기업에 기후변화 적응대책 수립을 적극 유도하였다. 민간기업의 경우 고효율 설비의 도입이나 에너지 절약시설 투자지원 등을 통해 단기적인 계획들이 수립되고 있다(중간적 동의).

기후변화는 기업의 다양한 경영전략에도 영향을 미치는데, 기업은 기후변화 현상 및 이에 대한 대응을 전략적으로 활용하여 기업의 현재가치와 미래가치를 상승시킬 수 있다.

산업 부문의 기후변화 취약성 평가는 기업이 기후변화 영향으로부터 얼마나 민감하며 이에 얼마나 잘 적응할 수 있는지를 평가하고 취약 부분에 대한 대책을 마련할 수 있다. 현재 산업통상자원부와 한국에너지공단은 국내 산업 부문의 기후변화 적응대책 수립을 지원하기 위하여 ‘산업 부문 기후변화 취약성 평가 방법론’을 개발하여 산업단지를 위주로 확산시켜 나가고 있다. 또한 환경부와 한국환경정책·평가연구원 국가기후변화적응센터는 2016년부터 ‘CRAS프로그램’을 개발하여 취약업종을 대상으로 기후변화 적응 전략수립 컨설팅 사업을 추진하고 있다.

원자력, 석탄 및 가스 발전, 수력 및 일부 태양력 발전의 경우 냉각 과정이 필수적이다. 그러나 기후변화에 의해 가뭄 발생이 증가하여 냉각수 부족으로 인한 전력 생산 차질이

우려되고 있으며, 높은 기온으로 인하여 냉각수 온도가 높아져 전력 생산의 효율성도 떨어질 것으로 예상된다.

폭염 및 고온에 대응한 최대전력의 설정은 첨두부하만을 담당하기 위한 발전소의 추가 건설이 필요함을 의미한다. 하지만 첨두부하만을 담당하기 위한 발전소는 하계 피크 기간에만 필요하므로 단위 발전량당 높은 유지·보수비용이 사회에 전가되므로, 기후변화에 따른 최대전력 증가로 인한 경제적 위험을 최소화할 방안으로 전력저장기술(electricity storage technologies) 등을 고려할 필요가 있다.

2016년 20개의 중앙부처가 참여하여 ‘제2차 국가 기후변화 적응대책(2016~2020년)’ 수립 이후, 사회기반 시설을 관리·보유한 공공기관(24개) 및 지방공기업(24개)에 대해 기후변화 적응대책을 자발적으로 수립하고 환경부에 보고하도록 하였다. 그러나 민간 기업들은 아직 고효율 설비의 도입이나 에너지 절약시설 투자지원 등 온실가스 감축의 틀에서 벗어나지 못하고 있으므로 이제부터라도 기후변화 적응대책 수립이 민간 산업 부문까지 확산될 수 있도록 제도적 장치를 마련하고 이를 이행할 수 있도록 적절한 지원책을 강구하여야 한다.

8. 보건



8.1 서론

기후변화로 인한 건강 영향은 지역의 물리적 환경과 사회구조의 취약성에 따라 다르게 나타난다. 우리나라는 기후변화에 따른 온난화와 이상기상 현상의 발생 가능성이 높아지고 있으며, 인구 고령화, 1인가구 증가, 소득 양극화 등 사회경제 구조 변화가 예측됨에 따라 적응능력이 낮은 인구집단을 중심으로 건강 피해가 증가할 우려가 있다. 따라서, 기후변화 건강 피해 저감을 위한 위험관리 대책 마련과 함께 보다 근본적인 해결책 모색을 위한 중장기적인 대안 발굴 노력이 필요하다. 본장에서는 국내 건강 영향, 전망, 취약성 원인과 관련 국가 정책에 대해 살펴보았다.

8.2 관측된 영향

폭염(견고한 동의), 기상재해(견고한 동의), 대기질과 알레르기(중간적 동의)에 의한 건강 영향과 곤충 및 설치류 매개체 감염병(중간적 동의), 수인성 및 식품매개 감염병(중간적 동의)과 기후 요소와의 관련성이 확인되었다.

폭염으로 인한 건강 영향은 열사병, 열탈진, 열피로 등의 온열질환이 가장 많이 발생하고, 신장질환, 심뇌혈관질환, 정신질환도 관련성이 높은 것으로 나타났다. 이러한 온열질환자 발생, 탈진 등은 노동생산성을 감소시켜 산업계의 피해로 이어질 수 있다. 또한 지속적인 고온으로 인한 대기오염물질 및 오존농도 증가는 호흡기 질환자 증가나 면역기능 저하 등 건강 문제를 발생시킬 뿐만 아니라

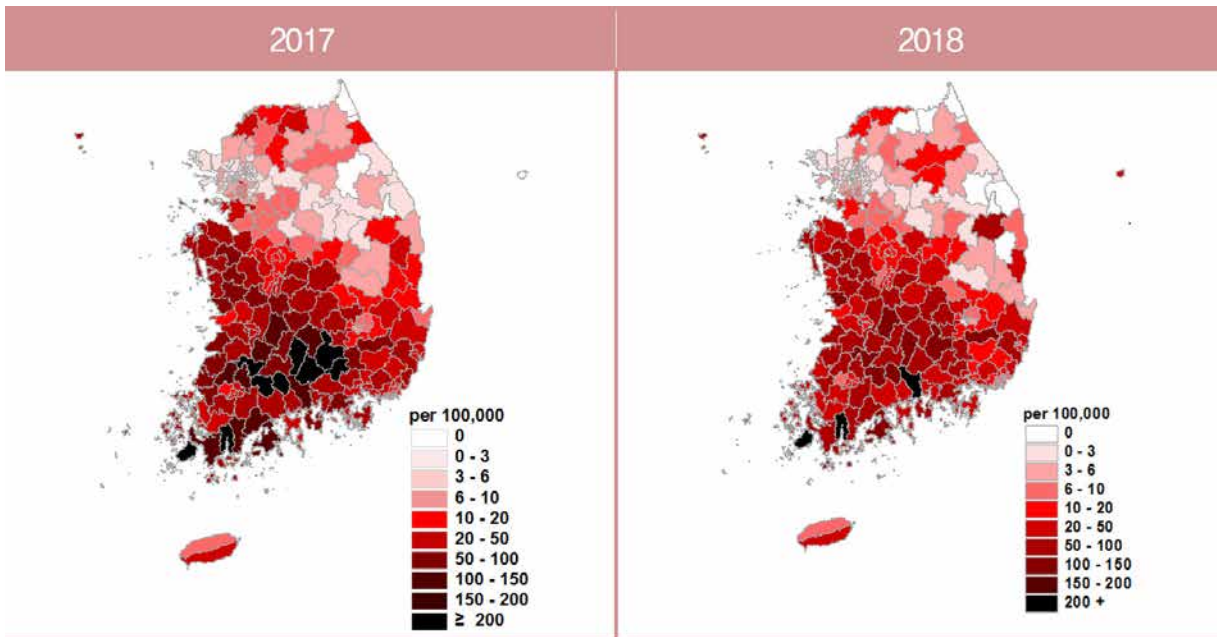


그림 8.1 지역별 인구 10만명당 찌꺼기무시증 발생률 (질병관리본부, 2019)

환경, 산업 및 사회기반시설 전반에 영향을 미칠 수 있다.

폭염으로 인한 건강 영향은 성, 연령, 건강 상태, 소득, 교육수준이나 지역별 차이(도시와 농촌, 건물밀집도, 지리적 특성, 인구밀도) 등 사회경제적 상태에 따라 다르게 나타난다. 우리나라는 기온이 1°C 증가할 때 사망 위험이 5% 증가하고, 다른 시기에 비해 폭염 시기의 사망 위험이 8% 증가하였다. 또한 기온 증가는 75세 이상 인구집단과 만성질환자의 사망 위험을 더 높이는 것으로 조사되었다.

기후변화는 오존과 미세먼지 농도를 증가시켜 건강에 영향을 줄 수 있다. 미세먼지와 심혈관계 및 호흡기계 질환과의 영향 연구가 활발하게 진행되었으며 최근에는 신장질환, 정신질환, 치매, 뇌경색 등의 뇌신경질환도 대기오염과 연관성이 있다는 연구가 발표되고 있다. 기후변화로 인해 꽃가루 개화 시기가 빨라지고 꽃이 피어있는 기간도 길어져서 이로 인한 알레르기 유발 물질 농도가 증가되는 것으로 나타났다.

매개체 분포 확대와 밀도 증가는 기온, 강수량 및 습도와 같은 기후 요소에 밀접한 영향을 받으며, 진드기 매개 감염병인 쯔쯔가무시증 환자 발생은 기온과 밀접한 관련이 있다(그림 8.1). 모기는 일평균기온 혹은 최고기온이 1°C 상승함에 따라 일주일 후 모기 성체 개체수가 27% 증가할 가능성이 있으며 상대습도와 강수량도 상관성이 있었다.

수인성 및 식품 매개 감염병은 평균 기온과 상관성이 높게 나타나며 기온 상승, 폭우 및 홍수에 의해서 비브리오균 감염증이 높게 나타났다. 기온이 1°C 상승할 경우 수인성 및 식품 매개 감염병의 평균 발생이 증가할 것으로 예측이 되었으며, 살모넬라, 장염비브리오 및 황색포도상구균으로 인한 식중독 발생 건수는 각각 47.8%, 19.2% 및 5.1% 증가하는 것으로 나타났다.

8.3 영향 전망

기후변화에 따른 온열질환으로 인한 사망과(건고한 동의) 태풍, 폭염, 대설과 같은 기상재해로 인한 위험(건고한 동의), 알레르기 질환(중간적 동의), 쯔쯔가무시증, 말라리아 등 매개 감염병(중간적 동의),

식중독 같은 수인성 및 식품 매개 감염병(중간적 동의)의 미래 질병 부담은 시간이 지날수록 증가할 것으로 예측된다.

우리나라 폭염일수는 현재 연간 10.1일에서 21세기 후반에는 35.5일(RCP 8.5)로 큰 폭으로 증가할 것으로 예측되었다. 폭염으로 인한 사망자 추정은 미래 폭염 발생, 인구구조 변화, 건강 및 폭염 적응 수준 등 기후와 비기후적 요인을 함께 고려해야 하지만, 기후요인만으로도 온열질환으로 인한 사망은 피할 수 없을 것으로 보인다.

기후변화와 이로 인한 생태계 교란은 곤충 및 설치류 매개 감염병의 질병 발생 양상에 많은 영향을 주는 것으로 예측되었다. 기후변화로 인해 쯔쯔가무시증 발생이 지속적으로 증가할 것으로 예측되며 중증열성혈소판감소증(SFTS), 삼일열 말라리아 환자수도 증가될 가능성이 있다. 또한 온난화로 기온이 상승하면 열대지방에서 서식하는 이집트 숲모기의 서식 조건이 형성되고 흰줄 숲모기 성충이 겨울철에도 생존하는 조건이 갖춰져 국내에서도 덩기열, 치쿤구니야열 및 지카 바이러스가 유입 후 전파될 가능성이 있다.

기온 상승으로 2090년대 식중독 발생 건수는 2002~2012년에 비해 42%나 높아질 것으로 예상되며, 설사 질환 환자수도 증가할 것으로 예측된다.

8.4 취약성의 주요 원인

폭염으로 인한 사망자 증가(건고한 동의), 기상재해(건고한 동의), 대기오염 및 알레르기로 인한 건강 약영향(중간적 동의)은 65세 이상 노인이나 만성질환자, 사회경제적 상태가 낮은 인구집단에서 더 취약한 것으로 나타났다. 기온 증가에 따라 쯔쯔가무시증, 삼일열 말라리아, 살모넬라, 캄필로박터균 감염증, 비브리오 감염증 등이 증가하고 쯔쯔가무시증과 중증열성혈소판감소증은 65세 이상 고령인구에서 더 높게 나타났다(중간적 동의).

폭염의 강도가 크고, 폭염 기간이 길어질수록, 그리고 이른 여름에 폭염이 발생하였을 때 폭염으로 인한 사망자가 많아지는 것으로 나타났고, 특히 여성과 65세 이상 노인, 교육수준이 낮은 인구 집단, 심뇌혈관이나 호흡기계 질환 등 만성질환자가 폭염 위험에 더 취약한 것으로 나타났다. RCP 8.5 시나리오에 따르면 우리나라에서 2040년대 폭염에 가장 취약한 곳은 대구이고, 일 최대기온이 33도 이상인 날의 횟수, 일 상대습도, 기초생활수급자 비율과 65세 이상의 인구가 폭염에 대한 취약성 결과에 큰 영향을 주었다.

기상재해에 따른 기후변화 취약성은 기상요소의 영향이 가장 크지만, 그 외에도 보건 의료 체계, 저지대지역 개발, 녹지면적, 도로면적, 산림내 경사도, 하천 개수율 등 도시 개발과 환경적 요소가 취약성 증가에 기여하는 것으로 나타났다. 홍수는 서울, 강원, 경남이 취약하며, 폭설은 백두대간을 따라 강원, 충북, 전북, 경남 일대가 취약하다. 기상재해로 인한 사망률의 경우 대도시보다 중소도시 및 농어촌, 해안지역, 사회경제적 상태가 낮은 인구집단의 생활방식이 날씨에 더 취약한 것으로 나타났다.

대기오염물질 농도 증가에 따른 영향은 연령, 기저질환, 유전적 요인, 교육 및 소득수준 같은 사회경제적 상태, 거주지역에 따라 다르게 나타난다. 체내로 흡수된 대기오염 물질은 전신 염증을 유도해 심혈관 질환을 유발 또는 악화시키므로 심혈관 및 호흡기계 질환자가 취약하다. 특히 노인은 이러한 기저질환이 있는 경우가 많고 미세먼지를 체외로 배출시키거나 독성을 제거하는 능력이 떨어지는 등 면역력이 저하되기에 더욱 취약하다. 알레르기 비염과 천식은 봄과 가을에 악화되고, 특히 면역기능이 떨어지는 소아가 알레르기 질환에 취약했다.

곤충 및 설치류 매개체 감염병은 접촉빈도가 높은 농촌 지역 거주 65세 이상 인구에서 주로 발생하며, 매개체의 활동 시기가 아닌 추수기 및 성묘로 인한 가을철 작업과 야외활동 등 사회적 요인과의 관련되어 있다. 말라리아는 기온상승에 따라 위험이 증가하고, 중증열성혈소판감소증(SFTS)은 강원도, 경기도, 제주도에서 매개체 접촉 빈도가 높은 고령층에서 취약하였다.

살모넬라, 캄필로박터균 감염증, 비콜레라 비브리오균 감염증 등 설사성 질환의 발생률은 평균 기온과 상관성이 높게 나타났다. 특히 식중독균인 살모넬라와 병원성 대장균

및 캄필로박터균은 고온 다습한 하절기에 분리율이 높아 식중독 발생이 높게 나타났다.

8.5 적응 옵션

기후변화 건강 적응대책은 취약계층 및 전 국민에게 미치는 건강 악영향을 줄이기 위해 관련 시스템을 운영하고 행동요령 등을 다양한 매체를 활용하여 홍보하고 있다(견고한 동의).

‘제2차 국가 기후변화 적응대책’에서는 이상기후에 대한 장기예보 도입, 미세먼지와 오존 등의 환경예보 강화, 폭염 및 한파로 인한 온열 및 한랭 질환 감시시스템, 기상재해 대응을 위한 24시간 재난 응급의료 상황실 운영, 수인성 및 식품 매개 등 감염병 감시체계 운영 등을 건강 관련 대책으로 마련하였다.

2016년부터 질병관리본부, 기상청, 행정안전부, 연탄은행이 폭염 취약계층의 피해 예방을 위한 캠페인을 시작하였고, 홍수, 태풍, 폭설, 황사, 지진, 해일 등 기상 재해에 대한 국민 행동 요령을 TV, 휴대폰 문자 등을 통해 전달하고 있다. 국민 재난안전 포털에서는 풍수해보험, 재해정보지도, 재난 심리상담 등의 정보를 제공하고 있으며, 지진 옥외 대피장소와 무더위 쉼터 등 관련 시설물의 위치 정보도 지도에서 찾을 수 있게 했다.

말라리아 및 일본뇌염 매개 모기 감시사업, 매개 곤충 질병 감염실태조사 모니터링, 야생동물 조류인플루엔자 검사, 기후변화로 발생 증가가 우려되는 산림병해충 모니터링, 국립검역소에서 해외유입 매개체 감시 등 매개체 질환 종합감시체계 및 비브리오토티(VibrioNet) 감시체계 등을 운영하고 있다.

9. 인간정주공간 및 복지



9.1 서론

폭염, 열대야, 집중호우, 한파 등 이상기후의 강도와 빈도가 증가함에 따라 인간정주공간 및 복지와 관련된 피해가 증가하고 있다. 우리나라는 고령화 사회이며, 소득집중도와 도시화율이 높아 도시문제와 취약계층 문제가 심각한 상황이다. 기후변화는 장소의 개념을 포함하여 개인적, 지리적, 사회적 특성에 따라 다른 영향 및 취약성, 위험을 나타내므로, 이러한 요소를 고려한 정책 및 연구가 필요하며 적응능력이 낮은 취약계층을 고려할 필요가 있다.

도시 차원에서 기후변화에 대처하는 방안은 감축과 적응으로 구분할 수 있지만, 서로 상관성이 높아 이들을 구분하여 평가하기보다는 감축과 연계된 적응 요소 및 대책을 수립하는 연구와 정책들이 도출되고 있다.

9.2 관측된 영향

인간정주공간은 도시와 농촌지역으로 구분할 수 있으며, 도시에서는 에너지 사용으로 인하여 직접적인 기후변화의 영향을 받기도 하지만, 가장 크게 기여하기도 한다(견고한 동의). 농촌은 인구감소, 고령 인구의 증가, 소득 감소, 기반시설의 수준이 낮아 기후변화로 인해 큰 피해를 입을 가능성이 높다(견고한 동의). 복지 부분에 있어서 우리나라는 특정 취약계층 및 지역 관리를 강화하는 정책을 추진하고 있다(견고한 동의).

우리나라 도시면적 비율은 2018년 기준 국토의 15.9%에 불과하나 지속적인 도시화로 인해 전체 인구 대비 도시거주 인구 비율을 나타내는 도시화율은 91.8%에 이르렀다. 도시지역들의 직접적 에너지 소비 증가로 인해 1999년~

2007년 동안 전체 대기오염 물질이 6.4% 증가하였고 탄소배출과 깊은 연관성이 있는 에너지소비량(전국, 23.4억 toe)은 2017년 기준으로 전라남도(18.15%), 경기도(12.54%), 울산(12.17%), 경상북도(9%), 서울(6.41%) 순으로 높게 나타났다.

우리나라의 농가 수와 인구는 점차 감소하고 있고 농촌 지역의 70세 이상 고령인구 비중은 38.4%로, 2010년과 비교하여 6.7%가 증가하였으며, 상대적으로 소득이 낮은 고령농가 비중 증가에 따라 평균 농가소득에도 영향을 미치고 있다. 최근 정부의 다양한 청년 귀농 정책과 다문화 가정의 증가로 일부 농촌 지역에서는 출산율이 증가하는 추세이며 자녀 성장 과정에서 도시 이주 비율이 높은 특성이 있다. 이외 대부분의 농촌 지역에서는 공동화 현상으로 인한 인구유출, 고령화, 경제쇠퇴가 동시에 나타나고 있으며, 농촌의 공지 및 공가가 증가하고 있다.

2017년 기준 농어촌 전체 행정리 중 36.6%는 일반 상수도를 통해 물을 공급받지 못하고 있으며 하수처리 시설이 없는 지역은 51.2%, 도시가스가 설치되지 않은 지역은 99%인 것으로 나타나 기후변화에 취약할 것으로 예상되며, 노후된 농어촌 지역의 주거환경 개선을 위해 국가정책이 추진 중이나 그 효과는 미흡하다. 모든 국민들을 대상으로 하는 다른 생활 인프라와 달리 특정 취약계층 및 지역의 관리를 강화하는 방향의 정책을 '제2차 국가 기후변화 적응대책'에서 제시하고 있지만 급격한 노령인구 증가와 가족기능 약화로 인해 크게 증가한 공공 부문의 복지 수요를 충족시키지 못하는 상황이다.

9.3 영향 전망

도시에서는 일부 지역의 인구감소가 예상되며, 도시문제를 해결하기 위해 스마트도시 및 도시재생

뉴딜사업을 도입하여 기후변화로 인한 영향을 줄일 수 있을 것으로 기대한다(중간적 동의). 농촌에서는 일부 지역의 인구는 증가할 수 있지만, 인구 6만 미만의 군에서는 감소할 것으로 예상되며(중간적 동의), 기반시설의 노후도 증가 및 미비로 인하여 기후변화 영향이 높은 것으로 나타났다(견고한 동의). 기후변화로 인한 피해는 공간 및 소득, 연령과 같은 사회적인 요소와도 밀접한 관계가 있다(견고한 동의).

도시에서 거주하는 인구는 점진적으로 증가할 것으로 예측되며, 2010년 대비 2030년의 서울특별시 자치구 인구는 약 11.8% 감소하지만, 이외 인구 50만 이상 시와 미만의 시, 광역시 자치구의 인구는 각각 1.6%, 22.5%, 2.7%가 증가할 것으로 예측된다. 도시의 노후화가 진행됨에 따라 ‘도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법’이 제정되었고, 2017년 이후에는 도시재생 뉴딜사업을 진행 중이다. 또한 도시 문제를 해결하기 위하여 스마트도시를 추진 중이며, 도심지역의 노후 건축물은 에너지 효율이 낮고 기후변화에 따른 영향을 크게 받을 수 있으므로, 재생사업 및 스마트도시 등의 정책사업을 통해 영향을 줄일 수 있을 것으로 기대한다.

농촌의 경우 도농복합도시의 인구가 2010년 대비 2030년에는 약 59.6% 증가하며, 인구 6만 이상인 군 단위에서도 약 26.7% 증가할 것으로 예측되었지만, 인구 6만 미만의 군에서는 약 33.3% 인구가 감소할 것으로 나타났다. 기후변화의 영향에 직접 노출된 기반시설과 관련해서는 농어촌지역 주거 인프라 현황을 정부에서 조사하고 있으며, 주택 냉난방 효율감소, 상수도 설비 미흡, 주택의 노후, 대중교통 부족 등이 취약요인으로 나타났다.

기후변화로 인한 피해는 공간 및 소득, 연령과 같은 사회적인 요소와도 밀접한 관계가 있다. 농어촌지역의 경우 저렴한 에너지 사용 접근성이 취약하므로 도시지역보다 기후변화에 의한 취약성이 높아질 수 있으며, 수도권 지역에서도 저소득계층의 피해 빈도가 높게 나타났다. 또한, 연령 측면에서는 노인, 어린이, 저소득계층, 심혈관계 질환자 등이 취약한 것으로 나타났다.

9.4 취약성의 주요 원인

도시에서는 홍수, 수자원 부족, 열섬현상 등으로 인하여 기후변화 위험이 증가하는 추세이며, 취약 정도를 정량적으로 평가하기 위하여 지표기반의 평가 방법을 많이 이용하고 있다(견고한 동의). 농촌 지역에서는 낙후된 주거 및 기반시설 부족으로 인한 기후변화 취약성이 증가하고 있으며, 이러한 현황을 파악하기 위하여 국가에서 다양한 조사를 실시하고 있다(견고한 동의).

복지와 관련하여, 기후변화 취약계층은 생물학적·사회경제적 취약계층, 취약지역 거주자, 취약시설 인근의 거주자로 구분할 수 있으며(중간적 동의), 이들은 노후화된 주거시설 및 낮은 에너지 효율로 인하여 취약성이 증가한다(중간적 동의).

도시의 기후변화 위험은 지역별 차이가 있지만, 홍수, 수자원 부족, 열섬현상 등으로 원인을 분류할 수 있다. 이를 분석하기 위하여 지표를 이용하는 방법들이 사용되고 있으며, 도시의 대기오염 취약성 평가 및 주거공간의 구성요인에 따른 고온 취약성 평가 등의 연구가 수행되었다.

접근성이 낮은 낙후된 농촌에 방치되는 주거시설들이 증가하고 있으며, 이를 관리하기 위하여 농촌진흥청에서는 농촌 생활실태 파악 및 분석을 위한 농촌 생활 지표조사 등을 실시하고 있다. 도농간 최저 주거기준에 미달된 가구 비율은 농어촌 지역이 높았으며, 이러한 현황은 기후변화 취약성의 주요 원인이 된다(표 9.1).

기후변화 취약계층은 생물학적·사회경제적 취약계층, 취약지역 거주자, 취약시설 인근의 거주자로 구분할 수 있으며, 기후변화로 인한 피해 정도는 취약계층에서 높게 나타나며, 노후화된 주거시설 및 낮은 에너지 효율로 인하여 수리비용의 증가와 건강문제가 발생할 가능성이 높다. 또한, 기후변화 취약계층 가구의 실내환경 진단 및 개선의 노력이 필요하다.

표 9.1 2015년 농어촌 지역 주거 인프라 현황(통계청 농림어업총조사)(정문수 등, 2018).

구분		행정리수 (전체 행정리 수대비 비율, %)
상수도	상수도	23,342 (63.4%)
	간이수도	12,174 (33.1%)
	전용수도	881 (0.2%)
	없음	395 (0.1%)
상수도	공공하수처리	13,974 (38.0%)
	마을하수처리	3,982 (10.8%)
	없음	18,836 (51.2%)
도시가스	설치	3,601 (1.0%)
	미설치	33,191 (99.0%)
전체 행정리 계		36,792

9.5 적응 옵션

기후변화 적응을 위하여 도시에서는 기술적인 부분을 이용해 스마트 녹색도시와 그린인프라 조성 등을 시도하고 있으며(중간적 동의), 농촌에서는 고령 영세농가를 대상으로 복지제도 도입을 통한 기후변화 적응을 도모하고 있다(중간적 동의). 또한 기후변화 취약계층을 대상으로 기후변화 적응 능력을 높이기 위한 사업을 추진하고 있다(중간적 동의)

도시의 기후변화 적응과 기후탄력성을 높이기 위해 주요 기상재해의 특성과 잠재적 영향을 분석하고 스마트 녹색도시, 그린 인프라 조성 등 공간 계획 및 설계를 도입하고 있다. 농촌에서는 고령화에 따른 소득 불평등을 개선하기 위하여 고령 영세농가를 대상으로 세금부담 경감 및 다양한 복지제도를 도입하여 고령 영세농가의 소득 증대를 도모하고 있다.

기후변화 취약계층과 관련하여, ‘제2차 국가 기후변화 적응대책’에서 다양한 사업이 제시되어 있으며, 주거환경 개선, 동절기 제설작업, 취약지역 개선사업, 위험 지역

정비사업 등을 포함한다. 취약계층은 일반인보다 기후변화에 민감하게 영향을 받을 수 있으므로, 외부공간 계획시 기후의 영향을 완화시킬 수 있는 요소를 도입하는 것이 필요하다.

10. 적응대책 및 계획



10.1 서론

기후변화 적응대책은 기후변화로 인해 발생하는 피해와 영향을 줄일 뿐만 아니라, 이를 새로운 기회로 활용하고 적응 능력을 높이기 위하여 국가 및 지자체에서 수립하는 5년 단위 행동계획이다. 2010년 최초의 법정계획인 ‘국가 기후변화 적응대책(2011~2015)’이 환경부 주관으로 수립되었고, 2012년 12월 기초지자체 적응대책 수립·시행을 위한 법적 근거를 마련하고 2015년부터 시행토록 하였다. 본 보고서는 국가와 지자체 적응대책 수립에 필요한 국가 차원에서의 과학적 정보 제공과 의사결정을 위한 교육 프로그램 및 서비스 제공, 기후변화 영향 평가 및 인식조사, 거버넌스에 관련된 연구 내용을 포함하였다.

10.2 기후변화 적응대책 수립

「저탄소 녹색성장 기본법」 제48조 및 동법 시행령 제38조에 의거하여 국가, 광역 및 기초지자체는 기후변화 적응대책을 수립하고, 대책 이행을 매년 점검·평가함으로써 대책의 이행력을 높이고 있다(견고한 동의).

‘제2차 국가 기후변화 적응대책’에서는 부문별로 기존 대책의 성과와 한계를 평가하고, 중장기 및 단기 비전과 목표를 차등화하여 제시하였으며, 기후변화 감축과 적응을 함께 고려하여 공동편익(Co-benefit) 효과를 고려한 대책을 포함하였다. 이외에도 이행 및 점검체계를 강화하여, 기후변화 영향 모니터링과 적응대책 평가의 환류체계를 마련하여 대책의 이행력을 확보하였다. ‘제2차 국가 기후변화 적응대책’은 ‘기후변화 적응으로 국민이 행복하고

안전한 사회 구축’이라는 비전을 통해 ‘기후변화로 인한 위험 감소 및 계획의 현실화’라는 목표를 달성하고자 하였다. 적응원칙으로는 지속가능한 발전에 부합할 것, 취약계층을 고려할 것, 과학적 근거 및 기술을 기반으로 할 것, 기존 정책과의 연계성을 확보하고 통합적 시너지를 창출할 것, 이해당사자의 참여를 활성화할 것을 명시하였다.

각 광역지자체에서 활용하고 있는 기후변화 관련 과학적 자료의 종류에 차이가 있었으며, 자료를 통한 중요 부문 도출 과정 방식과 이해관계자 의견수렴 방법 등에 차이가 나타났다. 대부분의 지자체 ‘기후변화 적응대책 세부시행 계획’에서는 기상청에서 제공하는 기후변화 현황 기상자료를 활용하였으며, 기후변화 전망 부문에서는 RCP 시나리오를 적용하였다. 대부분의 지자체들은 환경부에서 제공하는 취약성 평가도구를 활용하여 취약성 평가를 실시하였다.

각 지자체 적응대책의 한계점으로는 1) 상위 대책과의 정합성 확보 및 세부시행계획 추진을 위한 이행평가체계 미흡, 2) 각 지역의 맞춤형 기후환경 정보의 부족, 3) 조례 또는 예산 등 제도적 기반 미약, 4) 광역시도 간 업무공유 등 정보교류 및 체계적 성과관리를 위한 제도 미비, 5) 세부사업 간 유사 중복성으로 사업 관리의 어려움, 6) 이행관리 평가지표 등 이행평가 체계의 부재 등이 도출되었다.

기초지자체에서 이행과제 선정을 위해 우선순위 도출에서 사용하는 근거 및 지표들은 표준화된 방법론 부재로 서로 다르게 분석되어 결과 해석과 비교가 어려울뿐만 아니라 실제 이행과제 선정으로 연계가 되지 않는 문제가 있다(표 10.1). 이에 환경부는 국가 기후변화 적응센터와 함께 2011년부터 광역 및 기초지자체를 대상으로 교육 및 컨설팅 등의 지원을 통해 성공적인 적응대책 수립 및 이행을 유도하고 있다.

표 10.1 기초지자체별 우선순위 선정을 위한 종합분석 방식(현정희 등, 2019).

지자체	취약성 평가	시민 인식조사	공무원 인식조사	과거 영향평가	전문가 평가	기타
관악구 (서울특별시)	80%		20%			
달성군 (대구광역시)	50%	30%	20%			
남동구 (인천광역시)	√*	√	√	√		
동구 (대구광역시)	√				√	√
서구 (대전광역시)	√			√	√	√
동구 (울산광역시)	√	√	√	√	√	
포천시 (경기도)	20%	30%	30%	20%		
태백시 (강원도)	√	√	√	√	√	√
화천군 (강원도)	√	√	√	√	√	
청주시 (충청북도)	√	√	√	√		
괴산군 (충청북도)	20%	25%	25%	10%		20%
아산시 (충청남도)	√	√	√			
예산군 (충청남도)	20%	30%	30%	20%		
광양시 (전라북도)	20%	30%	30%	20%		
화순군 (전라남도)	√	√	√	√		
포항시 (경상북도)	√	√	√	√	√	√
영양군 (경상북도)	√	√			√	√
김해시 (경상남도)	√	√	√			
산청군 (경상남도)	√			√		

* 숫자가 있을 경우 평가 항목의 가중치이며 √는 평가 항목으로 사용되었으나 가중치는 매겨지지 않음

10.3 기후변화 적응대책 수립 방법론 연구

적응대책을 수립하기 위한 과학적 방법으로 영향·취약성 평가의 고도화, 적응인식조사 시행, 거버넌스 협의체 구축, 정책평가 및 우선순위 설정에 대한 연구가 이루어지고 있다. 또한, 그동안 강화된 이행점검 체계를 통해 환류 과정이 이루어질 수 있도록 하였다(견고한 동의).

적응대책 수립의 과학적 근거가 되는 기후변화 영향평가를 고도화하기 위해서는 표준화된 기후변화 시나리오 자료 처리와 함께 다양한 지구규모 기후모형(Glocal Climate

Model) 결과와 영향평가 방법을 활용하여 기후변화 영향 전망의 불확실성에 대한 연구가 진행되어야 한다. 기후변화 영향 및 취약성 평가를 위해서 기후 노출, 민감도, 적응능력의 함수로 정의되는 웹 기반의 평가도구(VESTAP)가 2014년부터 제공되고 있으며 광역 및 기초지자체가 RCP 시나리오에 대한 취약성 결과를 적응대책 수립에 활용할 수 있도록 하였다. 또한, 「IPCC 제5차 평가보고서」부터 기존 시나리오 기반 취약성 평가체계에서 리스크 평가체계로 전환하고 있으므로 이를 참고하여 대응전략을 세울 필요가 있다.

기후변화에 대한 시민 인식조사 연구에서는 일반 국민과 이해관계자 모두 기후변화 대응에 있어서 감축보다 적응을 더 중요하게 생각하는 것으로 나타났다. 또한, 개인적

수준에서 기후변화 위협이나 그 영향에 대한 인식 정도를 높이는 것이 적응과 감축에 대한 조치나 자발적 행동에 영향을 미치므로, 효과적인 적응대책 이행을 위해서는 다양한 적응 주체들의 인식과 행동을 고려하여야 한다.

기후변화의 부정적 영향을 최소화하는 것과 함께 사회의 대응 역량을 높이는 것 또한 중요하다. 주요한 사회문제들을 탐색하고 해결하는 데 있어 정부가 유일한 행위자가 아니므로 다양한 행위자가 의사결정 과정에 참여하는 거버넌스를 통한 접근과 참여가 필요하다. 지역 주민을 포함한 다양한 이해당사자들의 합의에 기초하여 지역의 적응대책을 수립할 때 적응대책에 대한 수용성이 높아지고 이행의 효과성도 높아진다.

기후변화 적응의 효율적인 이행을 위한 첫 단계는 적응 대책의 우선순위를 설정하는 것이며, 사전예방 원칙에 근거한 낮은 유감(low-regret)의 의사결정이 이루어져야 한다. 최근에도 부문 간 및 부문 내 우선순위 도출을 위해서 정성적인 평가 방법이 사용되고 있지만, 한 부문 내에서 정량적인 분석평가를 통해 이행과제 우선순위가 도출되는 연구도 진행되고 있다.

적응대책 수립 의무화 이후 시간이 지남에 따라 실질적 효과를 점검하고 성과를 도출하기 위하여 적응대책의 이행 평가와 평가 결과의 환류를 통한 수정·보완 등이 이루어지고 있다. 중점과제 이행평가 결과를 살펴본 결과, 90% 이상의 과제 이행수준은 '우수'로 평가되어 원활하게 추진된 것으로 확인되었다.

환경적 특성을 고려한 대책 마련이 강조되고 있다. 지자체 기후변화 적응대책에서는 재해예방 측면의 지원체계 강화와 직접적인 피해 관리, 그리고 물품지원 등 현실적인 서비스 제공을 포함하고 있으나, 보다 근본적이고 중장기적인 적응에 대한 고려가 필요하다.

지역 맞춤형 적응대책은 이행 가능성과 효과가 높다고 알려져 있다. 지역의 유형과 현황을 고려한 적응대책 마련을 위해 적응형 공간 관리 전략 마련과 도시의 기후탄력성 평가 등 공간계획기반의 연구가 시도되었다. 또한, 에너지 소비형 적응대책은 감축대책의 효과를 저감시킬 수 있으므로 도시 그린인프라 구축 등 적응과 감축 연계를 통해 공동의 편익을 고려한 적응 전략과 대책수립이 필요하다.

적극적인 적응 이행을 위해 지역사회 이해관계자들의 관심과 의견이 중요하며, 상향식(bottom-up) 의견수렴 과정과 참여의 장을 통해 다양한 이해관계자들을 설득할 수 있는 타당성을 확보할 필요가 있다. 또한 효과적인 지역기반의 대응을 위해서는 적응대책 수립 과정에서 지자체장의 적극적인 관심이 필수적이다. 정부 주도의 거버넌스 운영, 대책 이행을 감독·관리할 수 있는 자문기구 구성 등을 통해 적응 이행역량을 향상시키고, '국가-광역지자체-기초지자체' 간의 협의와 조정과정을 통한 환류체계에 반영이 강조되었다.

끝으로 IPCC 등 국제적 적응 동향을 고려할 때, 지역 특성을 고려한 과학적 위험 진단, 적응 옵션의 지속가능성과 공정성 고려, 지속가능한 발전을 위한 의사결정 등에 대한 연구가 적극적으로 추진되어야 할 것이다.

10.4 기후변화 적응대책 수립 시 고려사항

기후변화 적응대책 수립 시 취약계층에 대한 고려, 지역적 특성이 강조된 공간계획, 적응과 감축의 상관관계에 관한 연구가 진행되었으며 적응대책 수립 발전 방향도 제시되었다(중간적 동의).

지역마다 다르게 나타나는 기후변화 영향은 신체적, 사회경제적 적응능력이 낮은 취약계층에 더욱 피해를 줄 우려가 크므로 취약계층의 적응을 위해 지역의 사회·경제·

정책결정자를 위한 요약서

한국 기후변화 평가보고서 2020
- 기후변화 영향 및 적응 -

발행인	환경부장관
총괄편집	환경부 (배연진, 이현준, 정봉우) 한국환경정책·평가연구원 (정휘철)
발행일	2020년 7월

(30103) 세종특별자치시 도움6로 11 정부세종청사 6동 환경부
T. 1577-8866 F. 044-201-6386 W. <http://me.go.kr>

ISBN 978-89-93652-59-8, 978-89-93652-57-4 (세트)
발간등록번호 11-1480000-001691-01

정책결정자를 위한 요약서

한국 기후변화 평가보고서 2020

- 기후변화 영향 및 적응 -



환경부

Ministry of Environment

ISBN 978-89-93652-59-8
978-89-93652-57-4 (세트)